

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
И СИСТЕМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2013

УДК 621-31-031(076.5)
ББК 31.29я73
Г962

Гусев Н.В., С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко

Г962 Автоматизация технологических комплексов и систем в промышленности. учебное пособие по курсовому проектированию/ Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 186 с..

Учебное пособие содержит технические задания и методические указания по выполнению курсового проекта по курсу «Автоматизация технологических комплексов и систем в промышленности». Учебное пособие позволяет студенту получить навыки выполнения проектов комплексной автоматизации как современных систем постоянного тока, так и переменного тока, а также при помощи программируемого контроллера Siemens Logo!. Пособие подготовлено на кафедре электропривода и электрооборудования и предназначено для студентов, обучающихся по специальности 140610 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений».

УДК 621-31-031(076.5)
ББК 31.29я73

Рецензенты

Кандидат технических наук,
доцент, кафедры «Электроника и автоматика физических установок»
СТИ НИЯУ МИФИ
А.А. Филипас

Кандидат технических наук,
заместитель директора ООО «ЭлеТим»
В.Н. Черемисин

© ГОУ ВПО НИ ТПУ, 2013
© Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин,
М.В. Коваленко., 2013
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ 1. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.....	3
1.1. Техническое задание на курсовой проект.....	3
1.2 Задания на выполнение курсового проекта.....	6
1.3 Разработка функциональной схемы системы автоматического дозирования сыпучих материалов.....	7
1.3.1 Расчет мощности и выбор электродвигателя шнекового питателя.....	10
1.3.2 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным.....	11
1.3.3 Выбор редуктора.....	15
1.3.4 Выбор преобразователя частоты.....	15
1.3.5 Схема подключения преобразователя частоты.....	20
1.3.6 Расчет статических характеристик привода при частотном управлении.....	21
1.3.7 Выбор защитных аппаратов для двигателей.....	24
1.3.8 Выбор электромагнитных пускателей.....	24
1.3.9 Синтез контуров регулирования.....	26
1.3.10 Разработка имитационной модели автоматической системы дозирования сыпучих материалов.....	30
РАЗДЕЛ 2. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДВУХКООРДИНАТНОГО ТОКАРНОГО СТАНКА.....	36
2.1. Техническое задание на курсовой проект.....	36
2.2. Пример расчета курсового проекта.....	40
2.3. Пример расчета курсового проекта.....	43
2.3.1 Обоснование и выбор функциональной схемы системы автоматизации механизма подачи двухкоординатного металлорежущего станка.....	43
2.3.2 Механическая система электропривода.....	46
2.3.3 Электрическая часть силовой цепи системы САУСЭП.....	49
2.3.4 Линеаризованная САУ СЭП.....	57
2.3.5 Двухкоординатная САУ СЭП механизма подачи.....	64
2.3.6 Выбор и обоснование элементов автоматизации двухкоординатной САУ СЭП.....	90

РАЗДЕЛ 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА SIEMENS LOGO.....	100
3.1. Техническое задание на курсовой проект.....	100
3.2. Задания на выполнение курсового проекта	102
3.3 Пример расчета курсового проекта.....	125
3.3.1 Разработка и обоснование функциональной схемы системы автоматического управления технологическим процессом.....	125
3.3.2 Расчет мощности и выбор электродвигателей.....	128
3.3.3 Выбор преобразователя частоты.....	131
3.3.4. Выбор и обоснование датчиков.....	132
3.3.5 Выбор элементов электроавтоматики.....	134
3.3.6 Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики.....	145
3.3.7 Выбор и обоснование контроллера из линейки Siemens Logo.....	146
3.3.8 Разработка алгоритма функционирования системы управления.....	150
3.3.9 Разработка и моделирование программного обеспечения в Logo!Soft Comfort v6.0.....	152
Приложения.....	162
Список литературы.....	179

РАЗДЕЛ 1. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.

1.1. Техническое задание на курсовой проект

Тема проекта: разработка системы автоматизации технологического процесса дозирования сыпучих материалов.

Объем: 1. пояснительная записка (20-30) страниц текста формата А4;

2. графическая часть выносится в приложение пояснительной записки.

Содержание графической части:

- функциональная схема системы автоматизации процесса дозирования сыпучих материалов;
- имитационная модель;
- основные характеристики и показатели качества работы системы.

Содержание пояснительной записки:

Титульный лист

Техническое задание

Содержание

Введение

1. Разработка и обоснование функциональной схемы системы автоматического дозирования сыпучих материалов
2. Расчет мощности и выбор электродвигателей шнековых питателей
3. Выбор размеров и геометрии бункера дозатора.
4. Выбор и обоснование релейно-контакторной аппаратуры
5. Упрощенная модель процесса дозирования
6. Определение оптимальной настройки регулятора веса
7. Выбор преобразователя частоты
8. Выбор редуктора
9. Выбор и обоснование датчиков веса
10. Выбор и обоснование контроллера
11. Определение и оценка показателей качества регулирования на линейной и нелинейной модели процесса дозирования

10. Исследование модели автоматической системы дозирования сыпучих материалов с учетом падающего столба

11. Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики

Заключение

Список литературы

Примечание: Нумерация разделов и подразделов ПЗ и их наименование может быть изменена студентом. Оформление и представление курсового проекта выполняется в соответствии с СТО ТПУ 2.5.01-2006.

Техническое задание на курсовой проект

Разработать автоматическую систему дозирования сыпучего материала. Функциональная схема системы представлена на рисунке 1.1.

Сырье последовательно поступает из расходных бункеров РБ через шнековые питатели ШП в бункер-дозатор в соответствии с рецептом. Бункер-дозатор подвешен на датчиках веса ДВ. После завершения дозирования содержимое бункера-дозатора через открытую задвижку ссыпается в бункер-смеситель и перемешивается в течении заданного времени. Далее через открытую задвижку смесь высыпается в приемный бункер, откуда отгружается транспортером готовой продукции.

Мощность вспомогательных двигателей:

- задвижки дозатора М7 – 0,75 кВт;
- задвижки смесителя М10 – 1,0 кВт;
- рыхлителя М8 – 2,2 кВт;
- транспортера готовой продукции М11 – 3,7 кВт;
- М9 из таблице 1.2.

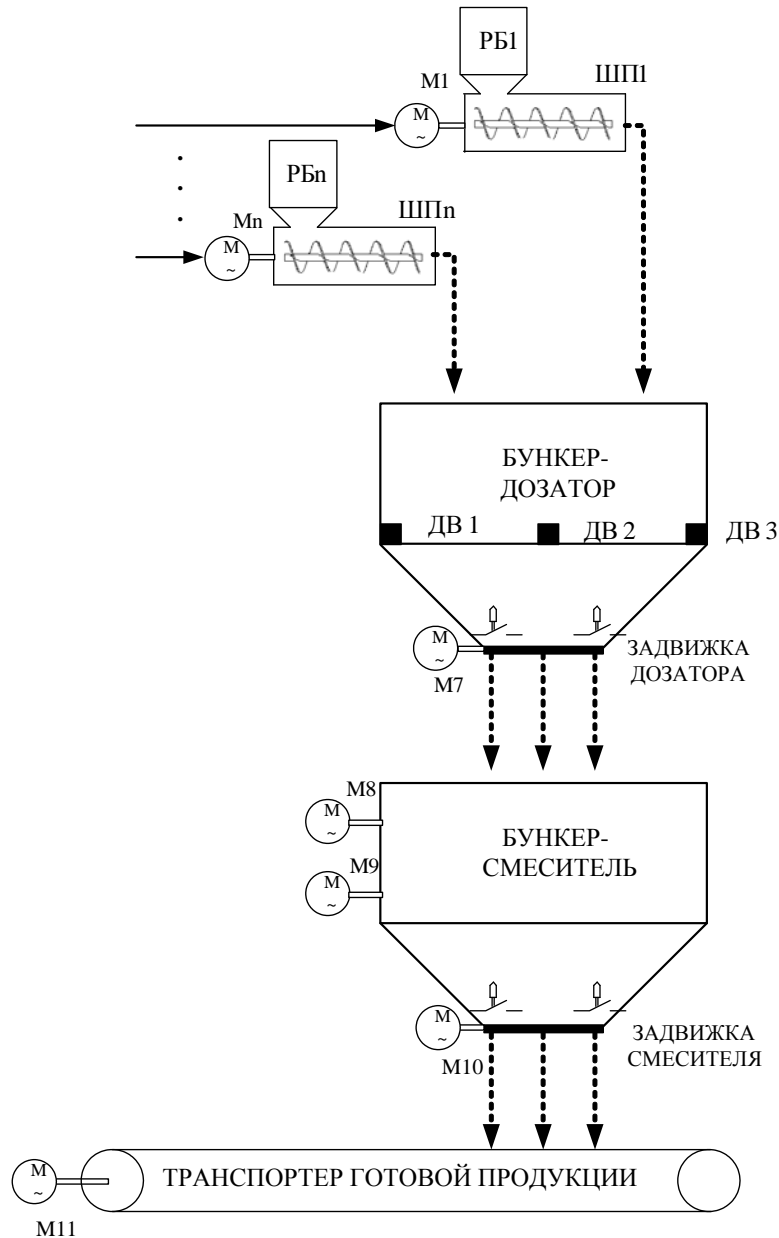


Рисунок 1.1 - Схема объекта автоматизации

Исходные данные механической части системы, тип дозируемого материала, требования к контроллеру автоматики приведены в таблице 1.1.

Требование к содержанию проекта:

1. разработать функциональную схему системы автоматизации процесса дозирования сыпучих материалов;
2. выполнить расчет и выбор электродвигателя шнекового питателя;
3. выполнить синтез регулятора веса;

4. исходя из грузоподъемности бункера дозатора, выбрать датчики веса;
5. выполнить расчет параметров и моделирование электропривода в среде MatLab.
6. произвести выбор и обоснование элементов системы автоматизации технологического процесса
 - контроллер;
 - интерфейсы связи;
 - нормализатор сигнала;
 - концевые выключатели задвижки дозатора;
 - коммутационное оборудование (пускатели, клеммы);
 - автоматические выключатели;
 - сечения силовых и информационных соединительных проводов;
 - шкаф;
 - указать компоновку элементов в шкафу, с учетом габаритов элементной базы.
 (контроллер, датчики веса, релейно-контакторная аппаратура, шкаф);
7. для каждой выбранной позиции элемента автоматики привести его изображение, параметры);
8. для всего оборудования составить таблицу с указанием стоимости и поставщика;
9. разработать электрическую соединений.

1.2 Задания на выполнение курсового проекта

Таблица 1.1

№ п/п	Установка датчика скорости	Контроллер автоматики	Дозируемый материал	Q т/ч	S м	D м	n об/ мин	Грузоподъемность бункера-дозатора, кг	Длина Шнека, м
1	На механизме	Встроенный в ПК	Песок	0.15	0.32	0.38	122	100	0.5
2	На двигателе	Внешний	Известняк	85	0.2	0.25	115	1000	1
3	На механизме	Встроенный в ПК	Полипропилен	0.08	0.24	0.37	121	80	0.38
4	На двигателе	Внешний	Гипс	190	0.24	0.37	121	3000	2

5	На механизме	Встроенный в ПК	Полиэтилен	0.031	0.18	0.24	114	50	0.7
6	На механизме	Встроенный в ПК	Вольфрам	3700	0.3	0.45	126	10000	3
7	На двигателе	Внешний	Сера техническая	17	0.1	0.16	100	8000	2.3
8	На двигателе	Встроенный в ПК	Соль поваренная	200	0.17	0.21	112	6000	3.1
9	На механизме	Внешний	Каучук	25	0.2	0.23	113	12000	2.7
10	На двигателе	Внешний	Цемент	180	0.34	0.45	126	2000	3.5

Таблица 1.2

Материал	Насыпная объемная масса, кг/м ³	Угол трения материала о поверхность, град
Песок	1400	60
Известняк	1230	40
Полипропилен	450	40
Гипс	810-960	35
Полиэтилен	600	34
Вольфрам	2400-4000	50
Сера техническая	850-980	25-60
Соль поваренная	1120	29-37
Каучук	461	19-20
Цемент	903	40

1.3 Разработка функциональной схемы системы автоматического дозирования сыпучих материалов

Для обеспечения высокой надежности программно-аппаратный комплекс должен состоять как минимум из трех уровней (рисунок 1.2). Нижний уровень содержит датчики и исполнительные механизмы. Средний уровень включает в себя управляющий контроллер и модуль релейной коммутации. Верхний уровень представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора на базе персонального компьютера. Взаимодействие между верхним и средним уровнем осуществляется посредством интерфейса RS-485 на физическом уровне и протоколом обмена, специально разработанным для стенда. Скорость обмена информацией между контроллером и АРМ оператора составляет 9600 бод.

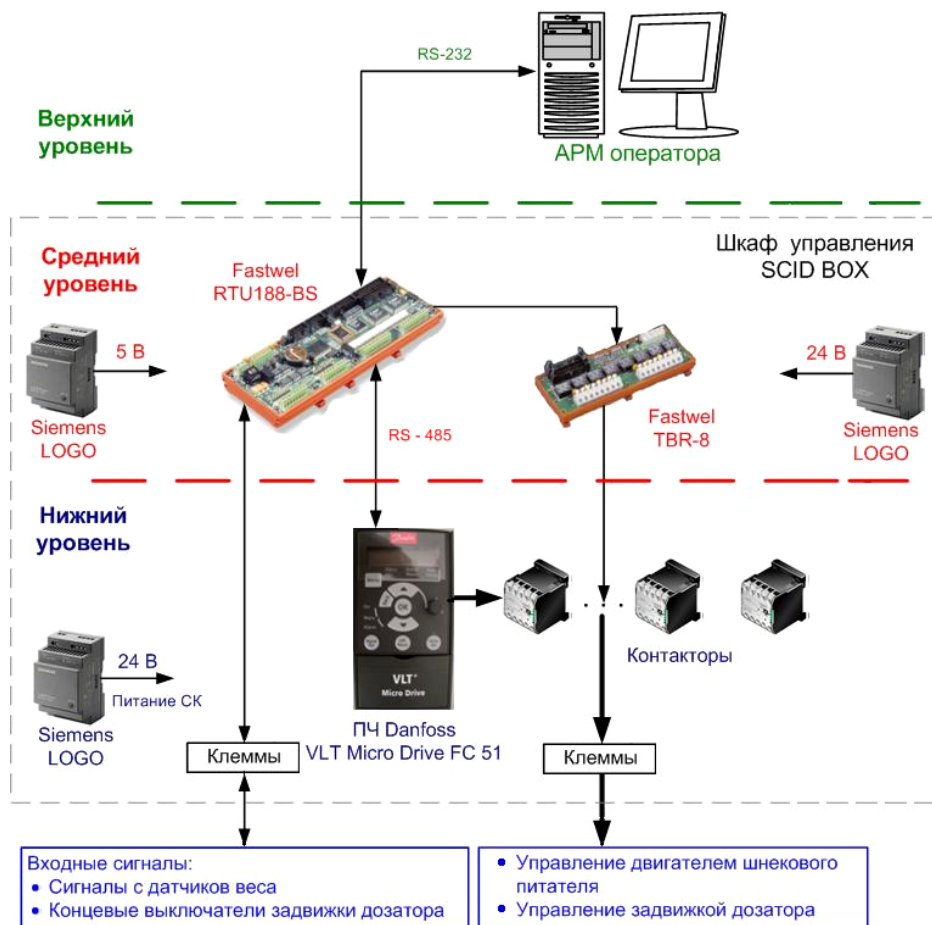


Рисунок 1.2 - Функциональная схема автоматической системы дозирования сыпучих материалов

Технологический процесс дозирования требует максимальную точность дозирования при заданной производительности. На рисунке 1.3 представлена функциональная схема асинхронного электропривода шнекового питателя для автоматического дозирования сыпучих материалов.

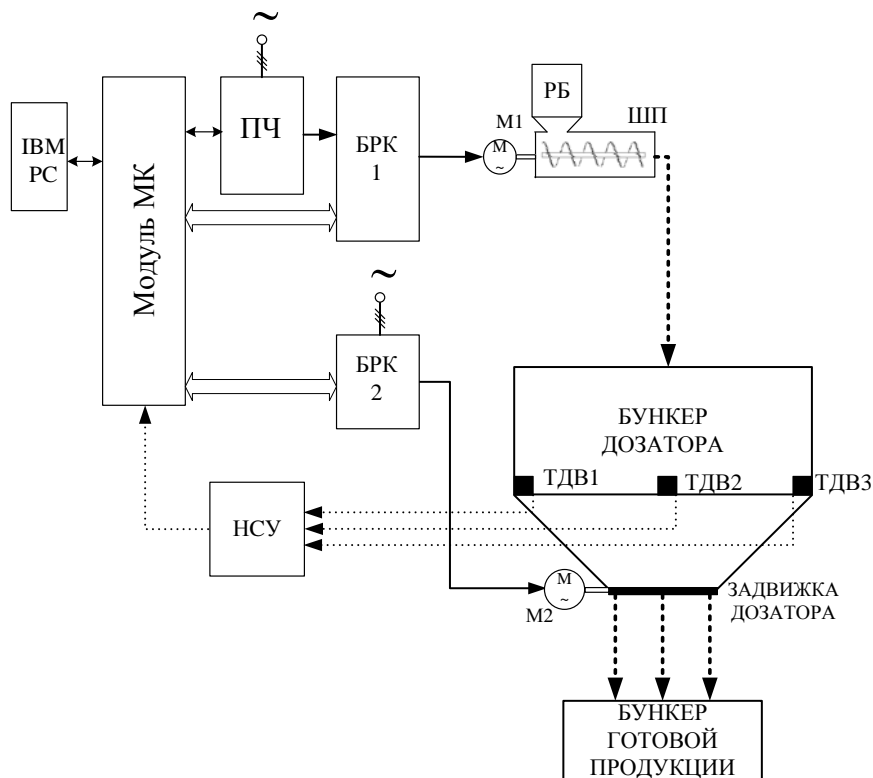


Рисунок 1.3 - Функциональная схема «Система автоматического дозирования сыпучих материалов»

На рисунке приняты следующие обозначения:

Модуль МК – модуль микроконтроллера;

ПЧ – преобразователь частоты;

БРК – блок релейной коммутации;

НСУ – нормирующий суммирующий усилитель;

М – асинхронный двигатель;

ТДВ – тензодатчик веса;

ШП- шнековый питатель;

РБ- расходный бункер.

На входе регулятора веса, программно выполненного в микроконтроллере, суммируются сигнал задания на вес, поступающий с персонального компьютера и сигнал с нормирующего усилителя пропорциональный текущему весу. Выход регулятора веса является заданием на частоту преобразователя и, соответственно, скорости вращения асинхронного двигателя шнекового питателя. По мере наполнения бункера разница между заданной и действительной массой в бункере уменьшается, что приводит к уменьшению скорости электропривода. Остановка двигателя осуществляется на небольшой скорости, что положительно сказывается на точности дозирования. После остановки двигателя шнекового питателя, по сигналу с микроконтроллера, коммутируется сило-

вая цепь задвижки дозатора. Перемещение материала в бункер готовой продукции происходит автоматически.

1.3.1 Расчет мощности и выбор электродвигателя шнекового питателя

Исходными для выбора электродвигателя являются параметры шнекового питателя, приведенные в таблица 1.1.

D – внешний диаметр шнека;

S – шаг винта шнека;

n – скорость вращения шнекового питателя.

Величина пассивной поверхности на шнеке

$$f = \left(\frac{S}{4 \cdot \pi \cdot \cos \lambda_0} \right)^2 \cdot (\sin (2 \cdot \lambda_0) - 2 \cdot \lambda_0 \cdot \cos (2 \cdot \lambda_0)),$$

где λ_0 – угол трения материала о поверхность шнека (таблица 1.2).

Площадь витка винта

$$F = p \cdot R^2,$$

где R – радиус винта.

Коэффициент производительности

$$\varphi = 0.87 \cdot \left(1 - \frac{f}{F} \right).$$

Секундная производительность

$$Q^c = \frac{S}{D} \cdot R^3 \cdot \omega \cdot \varphi_n, \text{ (м}^3/\text{с)}$$

где ω – скорость вращения шнекового питателя (рад/с).

Удельный расход энергии

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot L \cdot \gamma_0 \cdot g}{\frac{S}{D}} \text{ (кг/м} \cdot \text{с}^2),$$

где $\mu=0.8$ – коэффициент трения;

g – ускорение свободного падения (м/с²);

L – длина шнека (м);

γ_0 – насыпная объемная масса материала (кг/м³) (таблица 1.2);

Мощность на валу привода

$$N = Q^c \cdot A / 1000 \text{ (кВт)}.$$

По справочной литературе [47] выбираем асинхронный двигатель

$$P_n \geq N.$$

1.3.2 Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по каталожным данным

Для расчета электромеханических, механических характеристик асинхронного двигателя и имитационного моделирования необходимо воспользоваться его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения.[19] Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, рисунок 1.4.

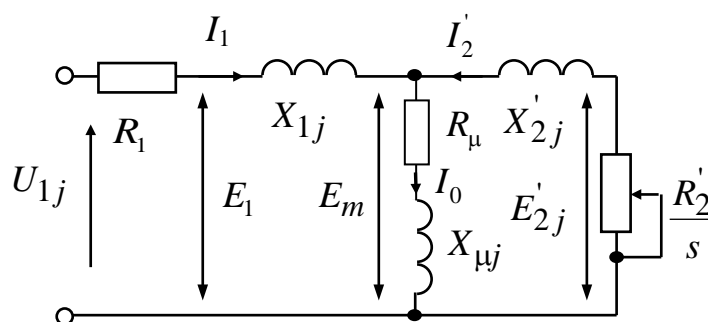


Рисунок 1.4 - Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\begin{aligned} \bar{U}_{1\Phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 &= 0; \\ \bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s &= 0; \\ \bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих (1), изображена на рисунок 1.5.

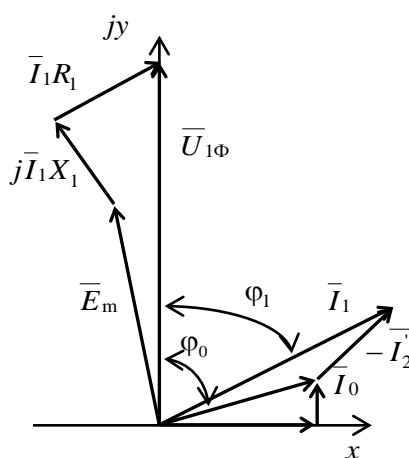


Рисунок 1.5 - Векторная диаграмма асинхронной машины

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя по его каталожным данным. Как правило, в каталогах [1] на асинхронные двигатели приводятся следующие технические данные:

P_H – номинальная мощность двигателя, кВт;

U_H – номинальное линейное напряжение, В;

I_H – номинальный ток статора двигателя, А;

n_H – номинальная частота вращения, об/мин или

s_H – номинальное скольжение, о.е.;

η_H – коэффициент полезного действия в режиме номинальной мощности (100%-я нагрузка), %;

$\cos\varphi_H$ – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности, о.е.;

$I_{II}/I_H = k_i$ – кратность пускового тока, о.е.;

$M_{II}/M_H = k_{II}$ – кратность пускового момента, о.е.;

$M_K/M_H = k_{MAX}$ – кратность максимального момента, о.е.;

$M_{MIN}/M_H = k_{MIN}$ – кратность минимального момента, о.е.

Эти данные позволяют определить параметры схемы замещения при следующих основных допущениях:

–магнитные и механические потери в двигателе составляют $0,02 P_H$;

–активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти из выражения [2]:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* I_{1H} (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}{1 - [p_* (1 - s_H) / (1 - p_* s_H)]^2}}, \quad (2)$$

где $I_{1H} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos\varphi_H \cdot \eta_H}$ – номинальный ток статора двигателя;

$s_H = \frac{(n_0 - n_H)}{n_0}$ – номинальное скольжение;

n_0 – синхронная частота вращения;

U_{1H} – фазное напряжение;

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos\varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} \quad (3)$$

– ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$\cos\varphi_{p_*}$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

η_{p_*} – к.п.д. при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_H$ – коэффициент загрузки двигателя.

Коэффициент мощности и к.п.д. при частичной нагрузке в технической литературе приводятся редко, а для целого ряда серий электрических машин такие данные в справочной литературе отсутствуют. Эти параметры можно определить, руководствуясь следующими соображениями:

– современные асинхронные двигатели проектируются таким образом, что наибольший к.п.д. достигается при нагрузке на 10-15% меньшей номинальной [1]. Двигатели рассчитываются так потому, что большинство из них в силу стандартной дискретной шкалы мощностей работают с некоторой недогрузкой. Поэтому к.п.д. при номинальной нагрузке и нагрузке $p_* = 0,75$ практически равны между собой, т.е.

$$\eta_H \approx \eta_{0,75}$$

– коэффициент мощности при той же нагрузке $p_* = 0,75$ значительно отличается от коэффициента мощности при номинальной нагрузке, причем это отличие в значительной степени зависит от мощности двигателя и для известных серий асинхронных двигателей с достаточной для практики точностью подчиняется зависимости, приведенной на рисунок 1.6.

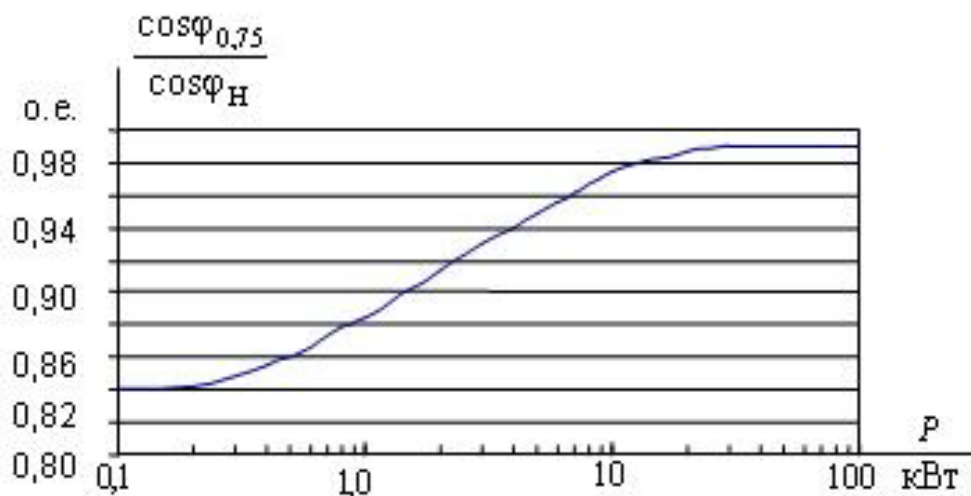


Рисунок 1.6 - Зависимость $\cos\varphi_{0,75}/\cos\varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя

Из формулы Клосса определим выражение для расчета критического скольжения

$$s_k = s_H \frac{k_{MAX} + \sqrt{(k_{MAX})^2 - [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta (k_{MAX} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta (k_{MAX} - 1)} \quad (4)$$

где

$$\beta = R_1 / (C_1 \cdot R_2'); \quad C_1 = 1 + (I_0 / (2 \cdot k_i \cdot I_{1H})). \quad (5)$$

Значение коэффициента β согласно [3] находится в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 1$.

Определим коэффициент [2]

$$A_1 = mU_{1\Phi}^2 (1 - s_H) / (2 \cdot C_1 \cdot k_{MAX} \cdot P_H). \quad (6)$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = A_1 / (\beta + 1/s_K) C_1, \text{ Ом} \quad (7)$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 R_2' \beta, \text{ Ом} \quad (8)$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания X_{KH} :

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} \quad (9)$$

Очевидно, что при отрицательном подкоренном выражении первоначально принятое значение β необходимо изменить.

Тогда

$$X_{KH} = \gamma C_1 R_2'. \quad (10)$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления X_{KH} сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, воспользуемся соотношениями [4], которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X_{2H}' = 0,58 X_{KH} / C_1, \text{ Ом}. \quad (11)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1H} = 0,42 X_{KH}, \text{ Ом}. \quad (12)$$

По найденным значениям переменных C_1 , R_2' , R_1 и X_K определим критическое скольжение

$$s_K = \frac{C_1 R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} \quad (13)$$

Если рассчитанные по (4) и (13) значения критического скольжения s_K не равны, то вводим поправку β и продолжаем расчеты по (5) – (13) в цикле до их совпадения с абсолютной погрешностью $\delta = 0,01$.

Обычно за две, три итерации удается достичь совпадения критического скольжения, определенного по выражениям (4) и (13).

Согласно векторной диаграмме (рис.3) э.д.с. ветви намагничивания E_m , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна ($R_m \approx 0$)

$$E_m = \sqrt{(U_{1j} \cos \varphi_{1f} - R_1 I_{1f})^2 + (U_{1j} \sin \varphi_{1f} - X_1 I_{1f})^2}, \quad (14)$$

тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu H} = E_m / I_0. \quad (15)$$

Используя параметры схемы замещения можно произвести расчет механических и электромеханических характеристик, а также динамики системы

1.3.3 Выбор редуктора

Скорость вращения шнекового питателя для перемещения сыпучих грузов должна лежать в пределах от 100 до 200 об/мин. Следовательно нужно предусмотреть в системе понижающий мотор-редуктор с передаточным числом $n_{ш}/n_{дн}$.

1.3.4 Выбор преобразователя частоты

С точки зрения энергетики основным параметром электропривода является его мощность. Поэтому при выборе преобразователя частоты в первую очередь необходимо определить требования к его нагрузочной способности. Вторым немаловажным параметром преобразователя являются требования к напряжению питающей сети. Как правило, преобразователи питаются от трехфазной сети переменного тока напряжением 380 В, разброс +10% / -15%, что вполне соответствует требованиям российских стандартов к качеству электроснабжения. Следует также отметить, что ряд производителей выпускают преобразователи частоты невысокой мощности (до 1,5 кВт) рассчитанные на работу от однофазной сети напряжением 220 – 240 В. Однако, ввиду понижения напряжения на звене постоянного тока, эти модели не могут формировать на выходе напряжение выше 220 В, поэтому они могут работать только с двигателями, обмотки статора которых соединены в треугольник. Также необходимо помнить, что такая схема подключения ведет к увеличению тока, как на входе, так и на выходе преобразователя частоты в сравнении с аналогичной моделью, работающей по стандартной схеме от трехфазной сети.

На следующем этапе выбора преобразователя частоты необходимо определить требования к его функциональным возможностям. Требуется выбрать способ управления двигателем: скалярное или векторное управление. Как уже говорилось ранее, векторное управление целесообразно выбирать в случаях, когда необходима высокая точность регулирования, поддержание момента на валу двигателя при малых скоростях вращения, т. е. для привода станков, мешалок, транспортеров.

В настоящее время существует большое количество различных преобразователей частоты. Ведущие позиции среди них занимают преобразователи таких фирм, как “ВЕСПЕР”, “Siemens”, “ABB”, “Danfoss”, “Omron”, “Mitsubishi”, “Schneider Electric”

Частотные преобразователи должны позволять:

- осуществлять пуск асинхронного электродвигателя без превышения номинального тока;
- производить разгон и торможение электродвигателя за заданные промежутки времени;
- плавно и ступенчато изменять скорость вращения электродвигателя;
- организовывать замкнутые системы автоматического регулирования;
- защищать электродвигатель от перегрузок, и многое другое.

Все устройства поставляются в виде законченных изделий и не требуют никакой доработки.

1.3.4.1 Расчет инвертора

Максимальный ток через ключи инвертора [16]:

$$I_{c\max} = \frac{P_n \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1n}}$$

где P_n , Вт - номинальная мощность двигателя;

$k_1 = 1,4$ - коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимый для обеспечения динамики электропривода;

$k_2 = 1,2$ - коэффициент допустимой пульсации тока;

η_n - номинальный КПД двигателя;

$\cos \varphi_n$ - номинальный коэффициент мощности двигателя;

U_{1n} - номинальное линейное напряжение двигателя.

Расчет потерь в инверторе при ШИМ – формировании синусоидального тока на выходе заключается в определении составляющих по-

терь IGBT – транзисторов в проводящем состоянии и при коммутации, а также потерь обратного диода.

Потери в IGBT в проводящем состоянии:

$$P_{ss} = I_{cp} \cdot U_{ce(sat)} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos(\varphi_H) \right)$$

где $I_{cp} = \frac{I_{cmax}}{k_1}$ - максимальная амплитуда тока на входе инвертора;

$D = 0,95$ - максимальная скважность;

$U_{ce(sat)} = 2,2$ В - прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при I_{cp} .

Потери IGBT при коммутации:

$$P_{sw} = \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot (t_{con} + t_{coff}) \cdot f_{sw}}{2}$$

где $t_{con} = 0,4 \cdot 10^{-6}$ с - продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открывание транзистора;

$t_{coff} = 0,7 \cdot 10^{-6}$ с - продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на закрывание транзистора;

$U_{cc} = k_{ch} \cdot U_{1H} = 1,35 \cdot 220 = 297$ В - напряжение на коллекторе IGBT, (коммутируемое напряжение, равное напряжению звена постоянного тока);

$k_{ch} = 1,35$ - коэффициент схемы для номинальной нагрузки;

$f_{sw} = 5000$ Гц - частота коммутации ключей.

Суммарные потери в IGBT:

$$P_Q = P_{ss} + P_{sw}$$

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{ep} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3\pi} \cdot \cos(\varphi_H) \right),$$

где $I_{ep} \approx I_{cp}$ - максимальная амплитуда тока через обратный диод;

$U_{ec} = 2$ В - прямое падение напряжения на диоде при I_{ep} .

Потери при восстановлении запирающих свойств диода:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot I_{ep} \cdot U_{cc} \cdot t_{rr} \cdot f_{sw},$$

где $t_{rr} = 0,2$ мкс - продолжительность обратного тока.

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DS} + P_{DR}$$

Результирующие потери IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_Q + P_D$$

Условие выбора ключей IGBT: постоянный ток коллектора $I_c \geq I_{cmax}$.

1.3.4.2 Расчет выпрямителя

Максимальное значение среднего выпрямленного тока [16]:

$$I_{dm} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{I_{cmax}}{\sqrt{2}} \right) \cdot U_{1н} \cdot \cos \varphi_n + n \cdot P_T}{U_d}$$

где $n = 3$ - количество пар транзисторов и диодов в инверторе.

$U_d = U_{cc}$ - напряжение звена постоянного тока.

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm}$$

где $k_{cc} = 1,045$ - для мостовой трехфазной схемы.

Максимальное обратное напряжение диода для мостовой схемы:

$$U_{vm} = k_{зн} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{1н} \cdot k_{сн} \cdot k_c + \Delta U_{п},$$

где $k_{зн} = 1,15$ - коэффициент запаса по напряжению;

$k_c = 1,5$ - коэффициент допустимого повышения напряжения;

$\Delta U_{п} = 150$ В - запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Потери в выпрямителе при установившемся режиме работы:

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot \left(U_j + R_{он} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1},$$

где $k_{cs} = 0,577$ - для мостовой трехфазной схемы;

$R_{он}$ - динамическое сопротивление полупроводникового прибора в проводящем состоянии;

U_j - прямое падение напряжения на приборе при токе 50 мА;

принимается, что: $\left(U_j + R_{он} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \leq 1$ В ;

$m_v = 6$ - число полупроводниковых приборов в схеме.

Емкость конденсатора, необходимая для протекания реактивного тока инвертора:

$$C = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{sm} \cdot \sin\left(\frac{\varphi_H}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2 \cdot U_d \cdot f_{sw} \cdot q_1},$$

где $I_{sm} = \frac{\sqrt{2} \cdot P_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}$ – амплитудное значение тока в фазе двигателя;

$\varphi_H = 0,45$ – угол сдвига между первой гармоникой фазного напряжения и фазного тока.

$q_1 = \frac{2}{m_v^2 - 1}$ – коэффициент пульсаций на входе фильтра.

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее I_{vm}) и по классу напряжения (не менее $U_{vm}/100$).

1.3.5 Схема подключения преобразователя частоты

Современные преобразователи частоты выполняются, как правило, по схеме с промежуточным звеном постоянного тока. Силовая схема регулируемого электропривода представлена на рисунке 1.7 [15].

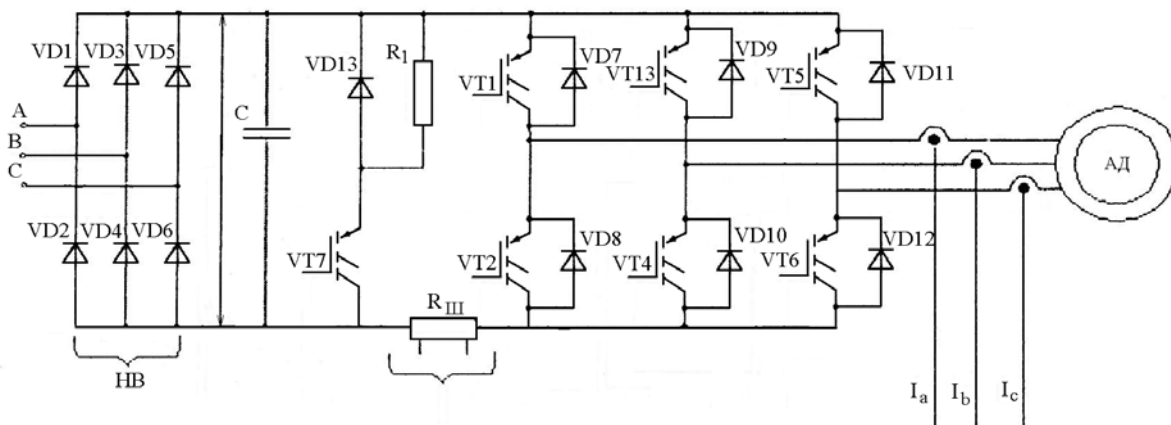


Рисунок 1.7 – Силовая схема регулируемого электропривода

Силовые элементы схемы:
 Силовые IGBT – транзисторы;
 Силовые диоды ;
 Конденсатор

Силовой канал ПЧ собран по схеме с промежуточным звеном постоянного тока и трехфазным инвертором напряжения. Переменное напряжение трехфазной сети (фазы А, В и С) поступают на неуправляемый мостовой выпрямитель (диоды VD1 – VD6). Выпрямленное напряжение сглаживается электролитическим конденсатором большой емкости С и поступает на трехфазный инвертор VT1 – VT6, ключами которого управляет микропроцессорная система. Напряжение на выходе инвертора формируется по закону ШИМ – модуляции и поступает к статорным обмоткам АД.

В качестве силовых ключей инвертора используются IGBT транзисторы с высокой нагрузочной способностью. Для исключения токов ЭДС самоиндукции в моменты коммутации и устранения обратных напряжений, параллельно IGBT транзисторам включаются быстродействующие диоды VD7 – VD13. Шунт $R_{ш}$ включен в силовую цепь для контроля за величиной протекающего тока и выполнения функции защиты. Кроме того, в процессе работы преобразователя происходит постоянный контроль за величиной выпрямленного напряжения.

Выходы модуляторов ШИМ микропроцессорной системы через микросхемы драйверов IGBT подключаются к силовым ключам инвертора. Драйверы выполняют функцию согласования между транзисторами IGBT и управляющими цепями микропроцессорной системы. Кроме того, данные устройства реализуют защитные функции, снимая управляющие импульсы с силовых ключей при пропадании питающего напряжения и перегрузках по току.

На силовой плате размещен силовой модуль с IGBT транзисторами, драйвера, датчики тока, конденсаторы фильтра цепи выпрямленного напряжения, блок питания.

Модуль включает в себя диоды выпрямителя, IGBT транзисторы инвертора, шунт, температурный датчик и дополнительный ключ для «слива» энергии в тормозных режимах. Данный модуль соединен с теплоотводящим радиатором и находится на нижней стороне платы силовых элементов. На этом же радиаторе размещены резистор торможения и температурный датчик для контроля за тепловым режимом.

При выборе преобразователя необходимо сделать экономическое обоснование выбора с обзором рынка.

1.3.6 Расчет статических характеристик привода при частотном управлении

При частотном регулировании скорости асинхронного двигателя необходимо учитывать, что реактивные сопротивления двигателя зависят от частоты питающего напряжения. При снижении частоты f_1 активное сопротивление R_1 становится соизмеримым с реактивными сопротивлениями машины, поэтому расчет электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя производится по следующим зависимостям [5].

Электромеханическая характеристика, определяющая зависимость приведенного тока ротора от скольжения

$$I_2' = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s X_{\text{мн}} f_{1*}}\right)^2}},$$

где U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1\text{н}}}$ – относительное значение частоты питающего напряжения.

Электромеханические характеристики $I_2' = f(\omega)$ построенные для трех законов регулирования класса $U_{1\phi}/f$ приведены на рисунок 1.8, где $\omega = \omega_0(1 - s)$.

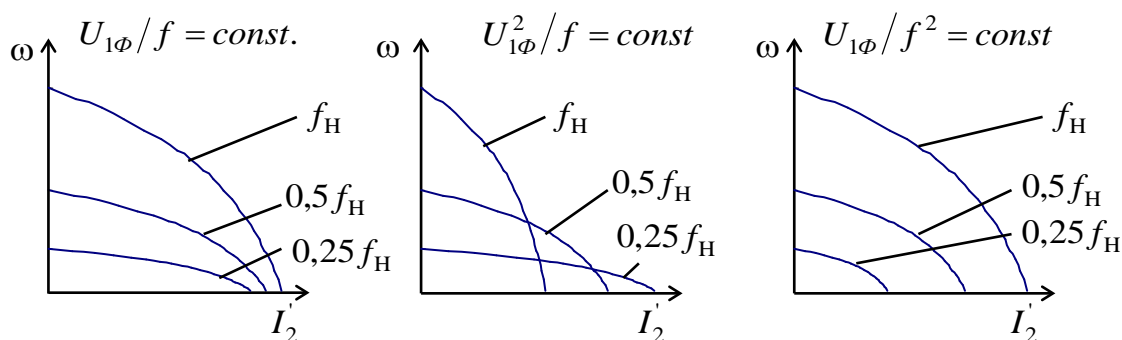


Рисунок 1.8 - Электромеханические характеристики $I_2' = f(\omega)$ для трех законов

Регулирования класса $U_{1\phi}/f_{1j}$

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя представляет интерес электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$, отражающая зависимость тока статора I_1 от скорости ω (скольжения s). Ток статора I_1

определяется путем сложения вектора тока намагничивания \bar{I}_0 и вектора тока ротора \bar{I}'_2 . Обычно это производится с помощью круговой диаграммы.

Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя I_0 реактивным ($I_{0A} = 0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора I'_2 можно найти по формуле: [5]

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2},$$

$$\text{где } \sin \varphi_2 = \frac{x_{\text{КН}} f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\text{КН}}^2 f_{1*}^2}}.$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания определяется следующим выражением

$$M = \frac{3U_{1j}^2 R_2'}{\omega_{0j} s_j \left[X_{\text{КН}}^2 f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s_j X_{\mu\text{H}} f_{1*}} \right)^2 \right]}.$$

Механическая характеристика асинхронного двигателя имеет критический момент и критическое скольжение, которые определяются обычным способом, положив $dM/ds_j = 0$. Тогда критический момент

$$M_{Kj} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \left[R_1 \pm \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{КН}}^2 f_{1*}^2) \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu\text{H}}^2 f_{1*}^2} \right)} \right]},$$

где $\omega_{0j} = \frac{\pi \cdot f_{1j}}{p}$ - синхронная угловая скорость;

U_{1j} - фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя.

Критическое скольжение

$$s_{Kj} = \pm R_2' \sqrt{\frac{1 + (R_1 / X_{\mu\text{H}} f_{1*})^2}{R_1^2 + X_{\text{КН}}^2 f_{1*}^2}}.$$

Знак (+) означает, что критический момент и скольжение относятся к двигательному режиму, знак (-) - к генераторному режиму рекуперативного торможения.

1.3.7 Выбор защитных аппаратов для двигателей

Для защиты двигателей от токов короткого замыкания, токов перегрузки необходимо выбрать автоматические выключатели. Защитные аппараты выбираются по току электромагнитного расцепителя, току теплового расцепителя и току короткого замыкания.

1. Необходимо определить пусковой ток, зная номинальный ток электроприемника:

$$I_{ПВСК} = 5 \cdot I_H .$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{КР} = 1,25 \cdot I_{ПВСК} .$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{ЭМ} \geq I_{КР} .$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 8, т.е.

$$I_{ЭМ} = 8 \cdot I_H ,$$

где I_H - номинальный ток двигателя.

4. Ток теплового расцепителя должен быть больше номинального тока электроприемника:

$$I_{Т.Р.} \geq I_H ,$$

Проверка по току короткого замыкания:

$$I_{КЗ} \geq I_{ЭМ}$$

$$I_{КЗ} = 10 \cdot I_H$$

1.3.8 Выбор электромагнитных пускателей

Пускатель электромагнитный – коммутационный электрический аппарат, предназначенный для пуска, остановки и защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором непосредственным подключением обмоток статора к сети и разрывом тока в них без предварительного ввода в цепь дополнительных сопротивлений.

С учетом используемых на практике схем главной цепи электропривода на основе асинхронных двигателей на электромагнитные пускатели возлагают дополнительно функции:

- реверсирование направления вращения двигателя путем изменения последовательности подключения фаз сети к обмоткам;
- изменение схемы включения обмоток двигателя Y / Δ ;

- защита двигателя от длительных перегрузок и перегрева, снижение сопротивления изоляции и т.п.

Учитывая требования к пускателю, как элементу схемы автоматического управления, на него часто возлагают ряд вспомогательных функций:

- электрическое и механическое блокирование возможности одновременного включения контакторов в реверсивных схемах;
- создание цепей для местного и дистанционного управления пускателем;
- защита от различных нежелательных режимов работы;
- контроль и сигнализация о состоянии силовых цепей и цепей управления.

Выпускаемые промышленностью серии магнитных пускателей рассчитаны на применение в разных климатических поясах, размещение в разных условиях. Пускатели обладают разной степенью защиты от прикосновения и воздействий и могут использоваться в разных условиях по механическим воздействиям и взрывоопасности среды.

1.3.8.1 Условия работы магнитных пускателей

В соответствии с главной функцией магнитных пускателей основным, а иногда и единственным элементом пускателя является трехполюсный электромагнитный контактор переменного тока, с которым связаны основные параметры пускателя: номинальное напряжение и номинальный ток коммутируемой цепи, коммутационная способность, коммутационная и механическая износостойкости.

Коммутационная износостойкость аппаратов в этих категориях проверяется в условиях, моделирующих включение и отключение асинхронного двигателя, соответствующего по параметрам номинальным данным пускателя, в режимах, определенных категорией применения пускателя.

Как к элементу систем автоматического управления к пускателям предъявляются высокие требования по износостойкости. Пускатели выпускаются в трех классах коммутационной износостойкости (А, Б и В).

Наивысшая износостойкость у аппаратов, относимых к классу А, наименьшая у аппаратов, относимых к классу В. Коммутационная и механическая износостойкость у аппаратов, относимых к разным классам, указывается в технических данных аппаратов конкретных типов.

2.3.2 Синтез контуров регулирования

2.3.2.1 Оптимизация контура скорости

Линеаризованная структурная схема системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель, приведена на рисунке 1.9.

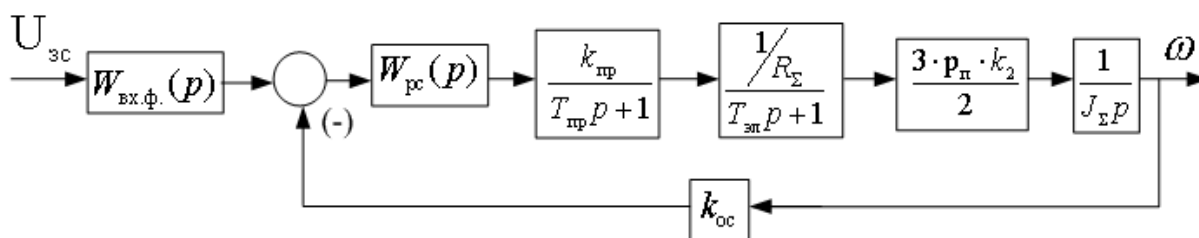


Рисунок 1.9 - Структурная схема контура скорости при оптимизации по СО

На рисунке 1.9 приняты следующие обозначения:

$W_{pc}(p)$ - передаточная функция регулятора скорости;

$k_{нр}$ - коэффициент преобразователя частоты $k_{нр} = 40$;

$T_{нр}$ - постоянная времени преобразователя частоты

$$T_{нр} = \frac{1}{f_{нр}} = \frac{1}{5000} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$T_{эл}$ - электромагнитная постоянная времени [10]

$$T_{эл} = \frac{L_{1\sigma} + L_m - \frac{L_m^2}{L_{2\sigma} + L_m}}{R_\Sigma}$$

$p_{п} = 1$ - число пар полюсов;

k_2 - коэффициент электромагнитной связи ротора $k_2 = \frac{L_m}{L_2}$;

$$R_\Sigma = R_1 + k_2 \cdot R_2'$$

$k_{ос}$ - коэффициент обратной связи по скорости $k_{ос} = \frac{U_{р\text{макс}} \cdot 9,55}{n_H}$;

J_Σ - суммарный момент инерции

$$J_\Sigma = J_{дв} + J_M = J_{дв} + \frac{1,5 \cdot J_{дв}}{i^2}$$

1.3.9.1.1. Синтез регулятора скорости на симметричный оптимум

Разомкнутый контур скорости, настроенный на симметричный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$W_{co}(p) = \frac{4 \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p^2 (T_{\mu c} \cdot p + 1)}$$

где $T_{\mu c} = T_{пр}$;

Передаточная функция разомкнутого контура скорости с учетом суммарной малой постоянной времени определяется следующим уравнением [10]:

$$W_{разкс}(p) = W_{pc}(p) \cdot \frac{k_{пр}}{T_{пр} p + 1} \cdot \frac{1/R_{\Sigma}}{T_{эл} p + 1} \cdot \frac{3 \cdot p_{II} \cdot k_2}{2} \cdot \frac{1}{J_{\Sigma} p} \cdot k_{OC}$$

Передаточную функцию разомкнутого контура скорости приравняем к желаемому и решаем относительно передаточной функции регулятора скорости.

$$W_{pc}(p) = \frac{4 \cdot T_{\mu c} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot p} \cdot \frac{(T_{эл} \cdot p + 1) \cdot R_{\Sigma} \cdot 2 \cdot J_{\Sigma}}{k_{пр} \cdot 3 \cdot p_{II} \cdot k_2 \cdot k_{OC}} =$$

$$= \frac{(4 \cdot T_{\mu c} + T_{эл}) \cdot p + 1}{(4 \cdot T_{\mu c} + T_{эл}) \cdot p} \cdot \frac{R_{\Sigma} \cdot 2 \cdot J_{\Sigma} \cdot (4 \cdot T_{\mu c} + T_{эл})}{8 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot k_{пр} \cdot 3 \cdot p_{II} \cdot k_2 \cdot k_{OC}}$$

где: $k_{pc} = \frac{R_{\Sigma} \cdot 2 \cdot J_{\Sigma} \cdot (4 \cdot T_{\mu c} + T_{эл})}{8 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot k_{пр} \cdot 3 \cdot p_{II} \cdot k_2 \cdot k_{OC}}$ - коэффициент усиления регулятора

скорости;

$T_{pc} = (4 \cdot T_{\mu c} + T_{эл})$ - постоянная времени интегрирования регулятора скорости.

1.3.9.1.2 Синтез регулятора скорости на модульный оптимум

Разомкнутый контур скорости, настроенный на модульный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$W_{co}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1)}$$

где $T_{\mu c} = T_{пр}$;

Передаточную функцию разомкнутого контура скорости приравняем к желаемому и решаем относительно передаточной функции регулятора скорости.

$$W_{pc}(p) = \frac{(T_{эл} \cdot p + 1) \cdot R_{\Sigma} \cdot 2 \cdot J_{\Sigma}}{k_{np} \cdot 3 \cdot p_{II} \cdot k_2 \cdot k_{OC} \cdot 2 \cdot T_{\mu c}}$$

В данном случае получается пропорциональный регулятор с коэффициентом усиления $K_{pc} = \frac{R_{\Sigma} \cdot 2 \cdot J_{\Sigma}}{k_{np} \cdot 3 \cdot p_{II} \cdot k_2 \cdot k_{OC} \cdot 2 \cdot T_{\mu c}}$ и фильтром на входе $(T_{эл} \cdot p + 1)$

1.3.9.2 Определение постоянной времени транспортной задержки

Объем бункера дозатора определяется по формуле:

$$V = \frac{m}{\gamma_0} \quad (\text{м}^3).$$

Обычно бункеры дозатора выполняются в виде куба и поэтому высота бункера определяется по формуле:

$$L = \sqrt[3]{V} \quad (\text{м}).$$

Высота падающего столба при перемещении материала из шнека в бункер можно определить по формуле:

$$L = \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (\text{м}).$$

где t – время падения материала в бункер дозатора.

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot L}{g}}$$

При заполнении бункера время t динамически изменяется, но для расчета регулятора веса можно принять постоянную времени транспортной задержки равной $T_{mз} = \frac{t}{2}$.

1.3.9.3 Оптимизация контура веса

Структурная схема контура веса представлена на рисунке 1.10

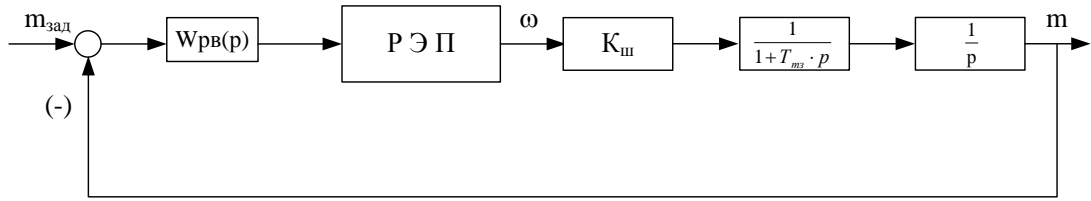


Рисунок 1.10 – Структурная схема линейризованного контура веса
 На рисунке приняты следующие обозначения:

$W_{рв}(p)$ - передаточная функция регулятора веса;

$k_{ш}$ - коэффициент передачи шнека;

$T_{тз}$ - постоянная времени транспортной задержки.

1.3.9.3.1 Синтез регулятора веса на модульный оптимум

Разомкнутый контур веса, настроенный на модульный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$W_{то}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\muв} \cdot p(T_{\muв} \cdot p + 1)}$$

где $T_{\muв}$ - малая постоянная времени контура веса.

Принимаем малую некомпенсируемую постоянную контура веса равную величине транспортной задержки шнекового питателя $T_{\muв} = T_{тз}$ с.

Протекание процессов по контуру веса имеет медленный характер по сравнению с процессами регулируемого электропривода. Поэтому в данной автоматической системе регулируемый привод (частотный преобразователь) можно представить пропорциональным звеном.

$$K_{р\text{эп}} = \frac{\omega_{\text{макс}}}{U_{рв \text{ макс}}}$$

Исходя из формулы для секундной производительности, коэффициент шнекового питателя можно рассчитать по формуле:

$$K_{ш} = \frac{S}{D} \cdot R^3 \cdot \varphi_n \cdot \gamma_0$$

Передаточная функция разомкнутого контура веса рассматриваемой системы (рисунок 1.10) определяется следующим образом [10]:

$$W_{разкв}(p) = W_{рв}(p) \cdot K_{р\text{эп}} \cdot \frac{k_{ш}}{p} \cdot \frac{1}{1 + T_{тз} \cdot p}$$

Передаточную функцию разомкнутого контура веса приравняем к желаемому и решаем относительно передаточной функции регулятора веса.

$$W_{рв}(p) = \frac{(T_{тз} \cdot p + 1)}{k_{ш} \cdot k_{рэп} \cdot 2 \cdot T_{\muв} \cdot (T_{\muв} \cdot p + 1)} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{рэп} \cdot 2 \cdot T_{\muв}}$$

где:

$$k_{рв} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{рэп} \cdot 2 \cdot T_{\muв}} - \text{коэффициент усиления регулятора веса;}$$

Таким образом, при настройке контура веса на технический оптимум, получаем регулятор веса пропорционального типа с коэффициентом передачи $k_{рв}$.

Синтез регулятора веса на симметричный оптимум

Разомкнутый контур веса, настроенный на симметричный оптимум, должен иметь следующую передаточную функцию [9]:

$$W_{то}(p) = \frac{4 \cdot T_{\muв} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\muв}^2 \cdot p^2 (T_{\muв} \cdot p + 1)}$$

Передаточную функцию разомкнутого контура веса приравняем к желаемому и решаем относительно передаточной функции регулятора веса.

$$W_{рв}(p) = \frac{4 \cdot T_{\muв} \cdot p + 1}{4 \cdot T_{\muв} \cdot p} \cdot \frac{1 \cdot (T_{тз} \cdot p + 1)}{k_{ш} \cdot k_{рэп} \cdot 2 \cdot T_{\muв} \cdot (T_{\muв} \cdot p + 1)}$$

где:

$$k_{рв} = \frac{1}{k_{ш} \cdot k_{рэп} \cdot 2 \cdot T_{\muв}} - \text{коэффициент усиления регулятора веса;}$$

$T_{рв} = 4 \cdot T_{\muв}$ - постоянная времени регулятора веса.

Таким образом, при настройке контура веса на симметричный оптимум, получаем регулятор веса пропорционально-интегрального типа.

1.3.10 Разработка имитационной модели автоматической системы дозирования сыпучих материалов

Имитационная модель автоматической системы дозирования сыпучих материалов представлена на рисунке 1.11.

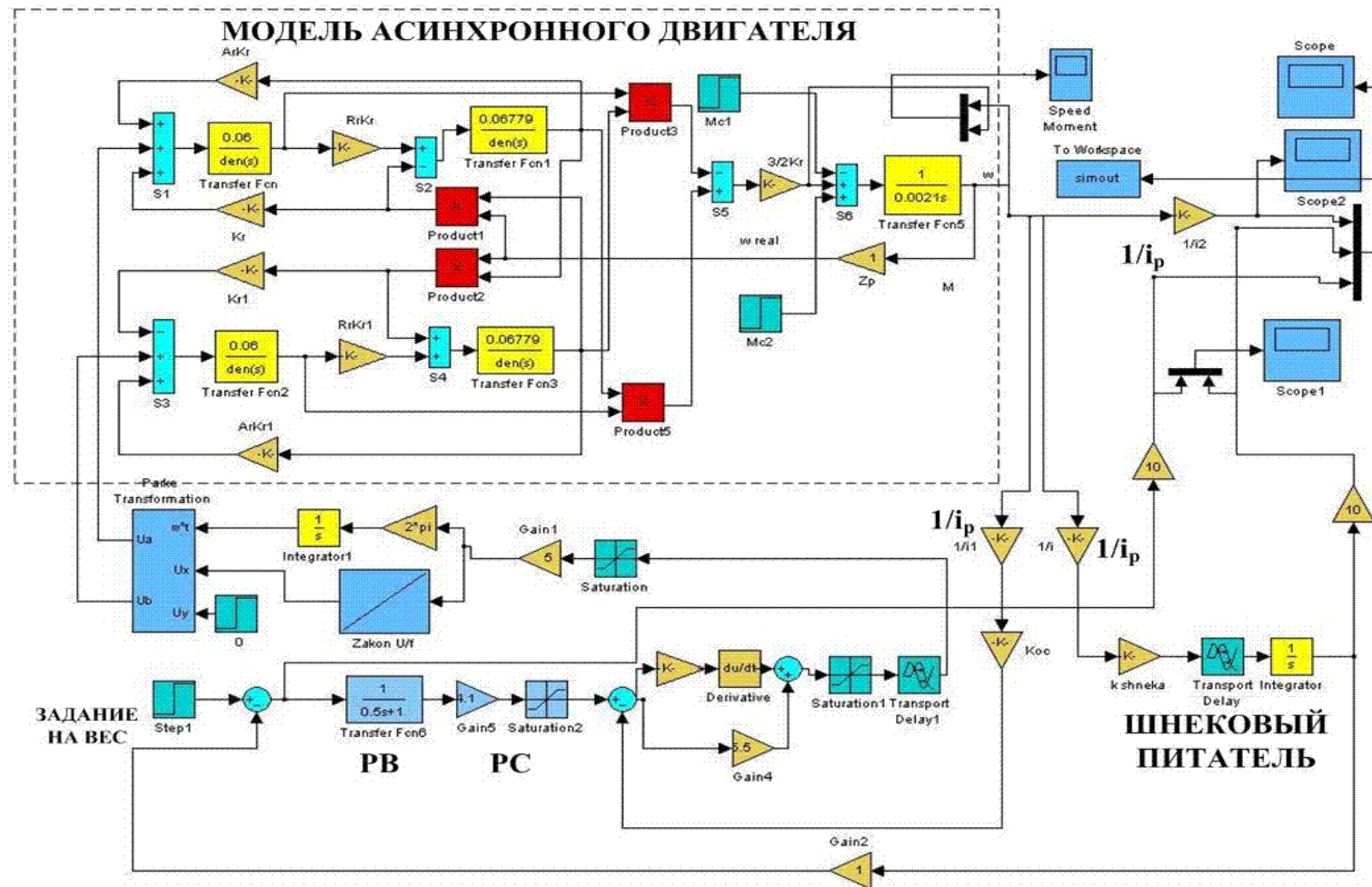


Рисунок 1.11 Имитационная модель автоматической системы дозирования сыпучих материалов

На рисунке 1.11 представлена структурная схема имитационной модели АД, созданная на базе системы дифференциальных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} p i_{s\alpha} = \frac{1}{L_e} (u_{s\alpha} - R_e i_{s\alpha} - K_r \omega_r z_p j \psi_{r\beta} + K_r A_r \psi_{r\alpha}), \\ p i_{s\beta} = \frac{1}{L_e} (u_{s\beta} - R_e i_{s\beta} - K_r \omega_r z_p j \psi_{r\alpha} + K_r A_r \psi_{r\beta}), \\ p \psi_{r\alpha} = R_r K_r i_{s\alpha} - A_r \psi_{r\alpha} + \omega_r z_p j \psi_{r\beta}, \\ p \psi_{r\beta} = R_r K_r i_{s\beta} - A_r \psi_{r\beta} + \omega_r z_p j \psi_{r\alpha}, \\ M = \frac{3}{2} z_p K_r (\psi_{r\alpha} \cdot i_{s\beta} - \psi_{r\beta} \cdot i_{s\alpha}), \\ p \omega_r = \frac{1}{J} (M - M_c). \end{array} \right.$$

$$\text{где: } K_r = \frac{L_m}{L_r}, \quad R_e = R_s + R_r \cdot K_r^2, \quad L_e = L_s - \frac{L_m^2}{L_r}, \quad A_r = \frac{R_r}{L_r}.$$

Блок *ПКП* представляет собой прямой преобразователь координат из вращающихся в неподвижные (*Parke Transform*). Содержимое блока видно на рисунке 1.12. На вход поданы напряжения во вращающейся системе координат U_x, U_y , представляющие собой постоянные величины, а также ω_t . На выходе блока формируются синусоидальные напряжения, управляющие моделью асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат.

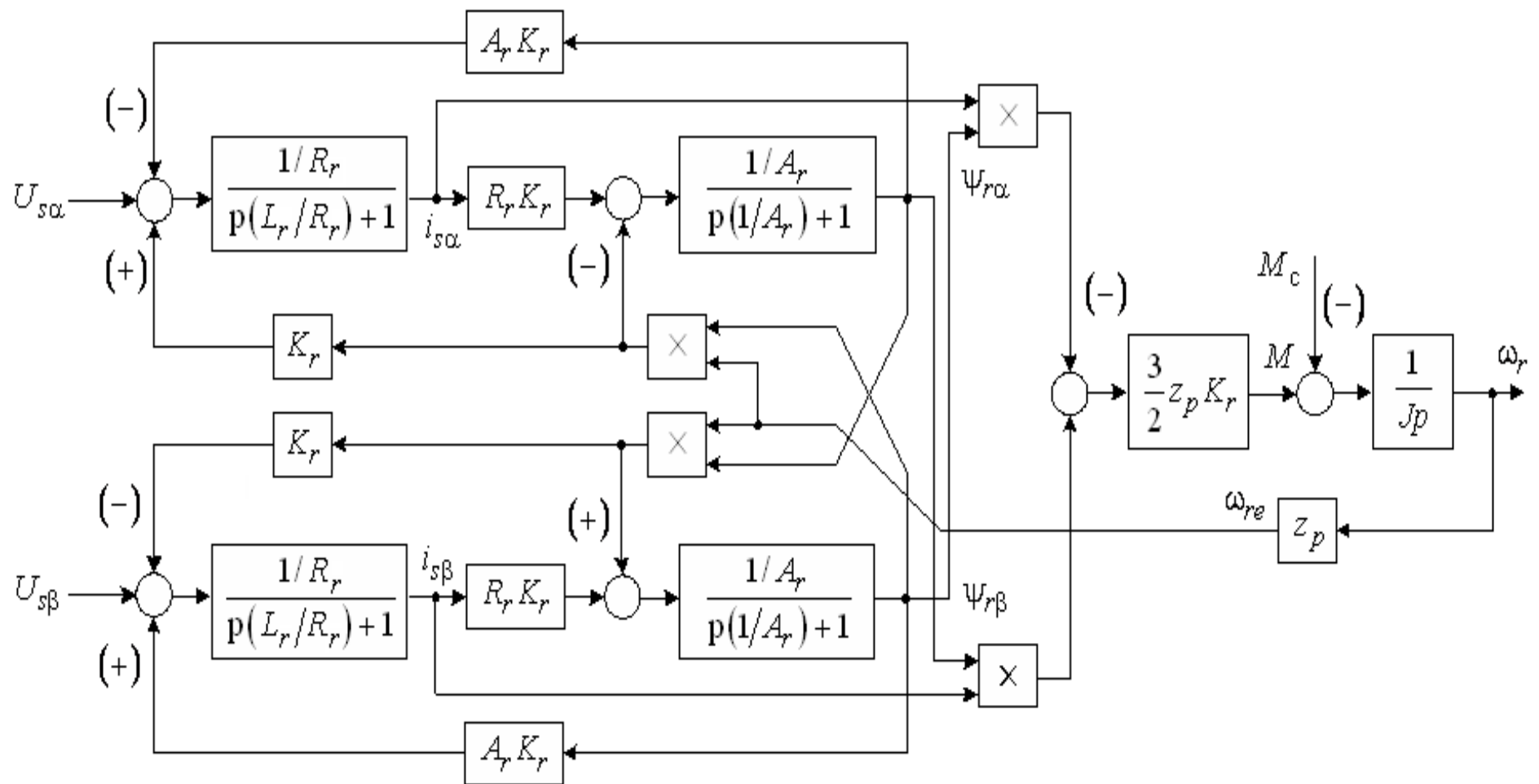


Рисунок 1.12 - Структурная схема имитационной модели АД при использовании неподвижной системы координат

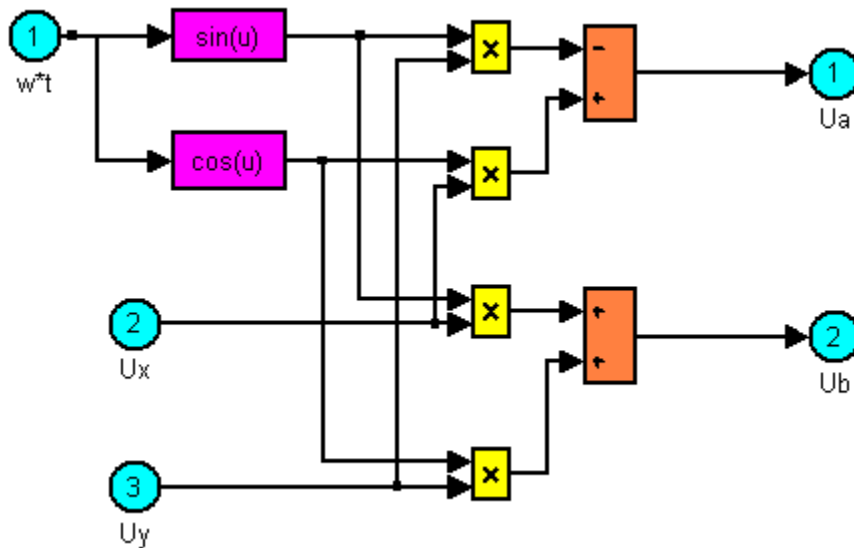


Рисунок 1.13 - Прямой координатный преобразователь (*Parke Transform*)

Закон управления преобразователем частоты $U/f = \text{const}$ реализуется с помощью блока Lookup Table, где в окошке “Input values” задаются значения частоты, а в “Output values” значения напряжения. Нужно задавать линейную зависимость для соблюдения пропорции $U/f = \text{const}$.

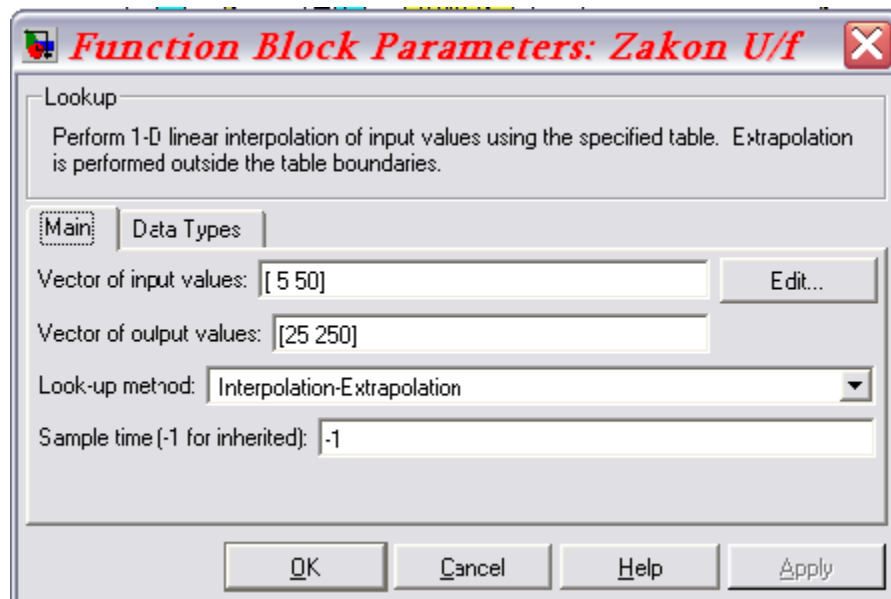


Рисунок 1.14 Реализация $U/f = \text{const}$

При моделировании пропорционально-интегрального регулятора используется функция Subsystem, с содержимым, показанным на рисунке 1.15. Здесь индивидуально задаются значение коэффициента регулятора и $1/T_{пер}$.

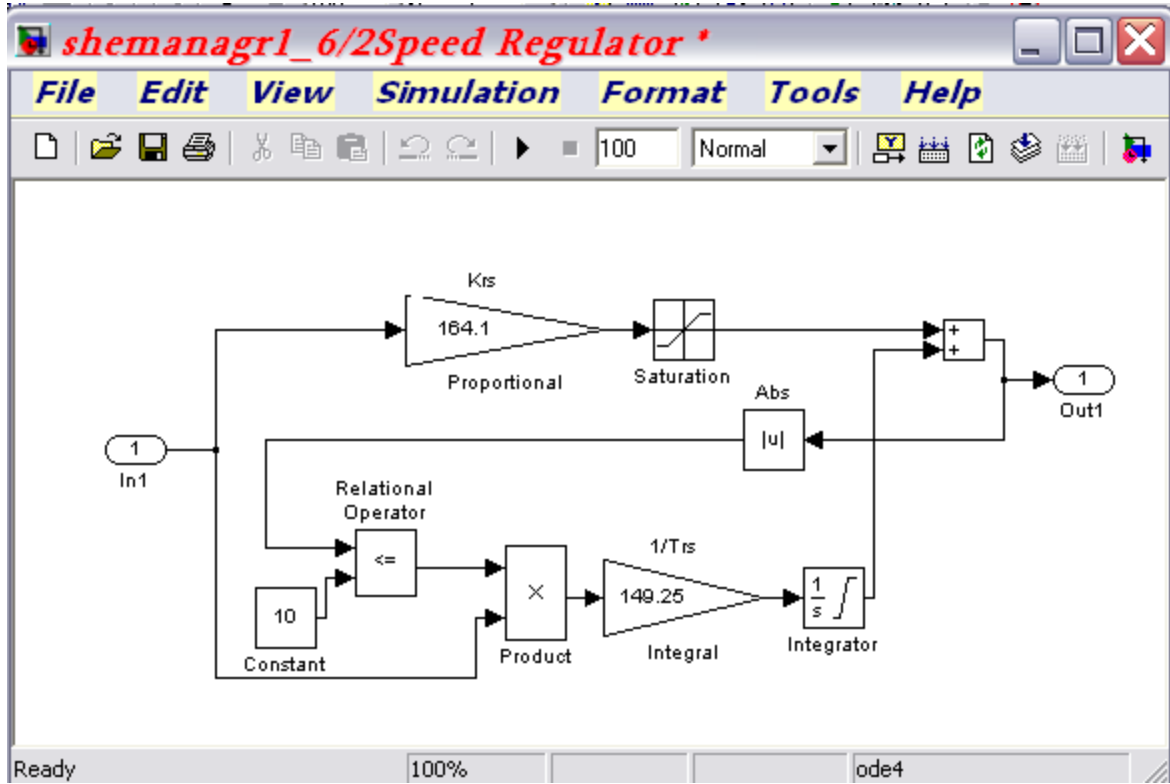


Рисунок 1.15 Пропорционально-интегральный регулятор

РАЗДЕЛ 2. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ДВУХКООРДИНАТНОГО ТОКАРНОГО СТАНКА

2.1. Техническое задание на курсовой проект

Тема проекта: разработка системы автоматизации двухкоординатного токарного станка.

Объем: 1. пояснительная записка (30-50) страниц текста формата А4;
2. графическая часть выносится в приложение пояснительной записки.

Содержание графической части:

- функциональная схема системы автоматизации двухкоординатного токарного станка;
- структурная схема нелинейной САУ СЭП;
- основные характеристики и показатели качества работы СЭП

Содержание пояснительной записки:

- Титульный лист
- Техническое задание
- Содержание
- Введение
- 1. Обоснование и выбор функциональной схемы системы автоматизации двухкоординатного токарного станка и выбора функциональной схемы электропривода
- 2. Механическая система электропривода
 - Кинематическая и расчетная схема механизма
 - Выбор электродвигателя
- 3. Силовая цепь электрической системы электропривода
 - Выбор преобразователя
 - Определение параметров силовой цепи
 - Структурная схема силового канала электропривода. Параметры
- 4. Линеаризованная и нелинейная САУ СЭП
 - Структурная схема линеаризованной САУ СЭП
 - Определение оптимальных настроек контуров СЭП
 - Определение и оценка ожидаемых показателей качества работы СЭП

Структурная схема нелинейной САУ СЭП

Анализ основных нелинейностей модели СЭП

Исследование нелинейной САУ СЭП на имитационной модели

5. Выбор и обоснование элементов системы автоматизации двухкоординатного токарного станка

Выбор и обоснование датчиков положения

Выбор контроллера движения

Выбор контроллера автоматики

Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики (пускатели, клеммы, и тд.)

6. Разработка подпрограммы позиционирования в «ноль».

Заключение

Список литературы

Примечание: Нумерация разделов и подразделов ПЗ и их наименование может быть изменена студентом. Оформление и представление курсового проекта выполняется в соответствии с СТО ТПУ 2.5.01-2006.

Техническое задание на курсовой проект

Разработать автоматическую систему управления двухкоординатным токарным станком с системой управления движением механизма подачи реализованной по принципу PCNC (Personal Computer Numerical Control). Упрощенная кинематическая схема механизма продольной подачи полуавтоматического токарного станка с ЧПУ представлена на рисунок 2.1.

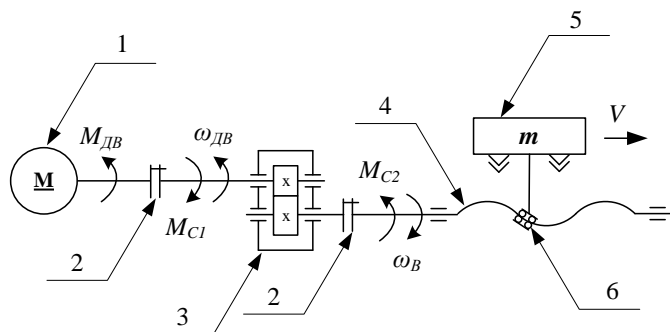


Рисунок 2.1 - Кинематическая схема механизма подачи

Принятые на рисунке 2.1 обозначения:

1 – электродвигатель;

2 – муфта;

3 – редуктор;

- 4 – ходовой винт;
- 5 – перемещаемая масса;
- 6 – гайка качения.

Параметры механической части системы приведены в таблице 2.1. Датчик положения следует разместить на валу двигателя либо на механизме, в соответствии с указаниями в таблице 2.4.

Требование к содержанию проекта:

10. разработать функциональную схему системы автоматизации токарного станка.

11. исходя из заданных параметров выполнить расчет и выбор электродвигателя и силовой части регулируемого электропривода.

12. выполнить расчет параметров и моделирование следящего электропривода в среде MatLab. Пояснение к моделированию приведено в приложении 1.

13. Произвести выбор и обоснование элементов системы автоматизации технологического процесса:

4.1. обоснованно произвести выбор сервоконтроллера и привести описание его основных характеристик. Автоматическая система управления должна обеспечивать одновременное управление перемещением механизмов подачи по двум осям X и Y с помощью РС-совместимого модуля сервоконтроллера.

4.2. установить необходимое количество концевых выключателей для выполнения процедуры выхода в ноль, а также обработки аварийных ситуаций вызванных неконтролируемым смещением положения механизма.

4.3. произвести выбор элементов системы, описать требования и характеристики:

- концевые выключатели;
- коммутационное оборудование (пускатели, клеммы);
- автоматические выключатели;
- сечения силовых и информационных соединительных проводов;
- шкаф;
- указать компоновку элементов в шкафу, с учетом габаритов элементной базы;

4.4. обеспечить обработку дискретных сигналов электроавтоматики с помощью контроллера автоматики. Тип контроллера определен в таблице 2.4. Обосновать выбор контроллера;

4.5. согласовать интерфейсы связи контроллеров движения и электроавтоматики с управляющим компьютером. Обосновать выбор;

4.6. разработать алгоритм позиционирования в ноль (вариант позиционирования приведен в таблице 2.3). Используя одну из сред разработки ПО (MatLab, Delphi, Builder) реализовать разработанный алгоритм. Критерием адекватности работы алгоритма и программы будет выход из любой точки в нулевую координату. Пояснение к выполнению приведено в приложении 2.

2.2. Задания на выполнение курсового проекта

Студент должен выполнить проект процесса автоматизации двухкоординатного токарного станка. Исходные данные для расчета указаны в таблицах 2.1, 2.2, 2.3, 2.4.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 2.1

№	C_F	t_P	S_{OB}	C_V	T	X_V	Y_V	m	n_F
1, 11, 21	300	0,8	1,2	420	60	0,5	0,2	0,2	-0,15
2, 12	200	0,9	0,8	350	60	0,5	0,35	0,2	-0,15
3, 13	300	1,2	1,4	340	60	0,5	0,45	0,2	-0,15
4, 14	200	1,3	1,3	87,5	60	0,25	0,33	0,125	0
5, 15	300	1,4	1,1	56	60	0,2	0,66	0,125	0
6, 16	200	1,5	1,3	110	60	0,5	0,45	0,125	0
7, 17	300	0,9	1,5	31	60	0,5	0,55	0,15	-0,3
8, 18	200	1,0	1,6	350	60	0,25	0,35	0,15	0
9, 19	300	1,2	1,7	340	60	0,5	0,45	0,15	-0,4
10, 20	200	1,5	1,8	110	60	0,2	0,55	0,15	0

Таблица 2.2

№	l_B , м	d_B , мм	t_B , мм	m_{Σ} , кг	$i_{ред}$	$\eta_{пер}$	$\eta_{ред}$
1, 11	1,5	20	5	500	1	0,85	0,96
2, 12	2,5	25	5	1000	2	0,85	0,97
3, 13	3	32	10	500	1	0,85	0,96
4, 14	3,5	40	10	1000	2	0,85	0,97
5, 15	4	50	10	500	1	0,85	0,96
6, 16	4,5	63	10	1000	2	0,85	0,97
7, 17	4,5	80	10	500	1	0,85	0,96
8, 18	4,8	100	10	1000	2	0,85	0,97
9, 19	4	50	5	500	1	0,85	0,96
10, 20, 21	3,5	32	5	1000	2	0,85	0,97

Таблица 2.3

№	Контроллер автоматики	Установка датчика положения	№	Контроллер автоматики	Установка датчика положения
1	Внешний ПЛК	двигатель	11	Встроенный в ПК	двигатель
2	Встроенный в ПК	двигатель	12	Внешний ПЛК	двигатель
3	Внешний ПЛК	двигатель	13	Встроенный в ПК	двигатель
4	Встроенный в ПК	двигатель	14	Внешний ПЛК	двигатель
5	Внешний ПЛК	двигатель	15	Встроенный в ПК	двигатель
6	Встроенный в ПК	двигатель	16	Внешний ПЛК	двигатель
7	Внешний ПЛК	двигатель	17	Встроенный в ПК	двигатель
8	Встроенный в ПК	двигатель	18	Внешний ПЛК	двигатель
9	Внешний ПЛК	двигатель	19	Встроенный в ПК	двигатель
10	Встроенный в ПК	двигатель	20,21	Внешний ПЛК	двигатель

Таблица 2.4

№	Δ_K , мкм	R_0 , мкм
1, 11	5	5000
2, 12	10	4000
3, 13	5	8000
4, 14	10	3000
5, 15	5	5000
6, 16	10	4000
7, 17	5	3000
8, 18	10	5000
9, 19	5	7000
10, 20, 21	20	5000

Обозначения принятые в табл. 1 – 4:

C_F , t_p , $S_{об}$, C_v , T , X_v , Y_v , m , n_F – коэффициенты определяющие усилие подачи;

m_{Σ} – масса перемещаемого груза;

l_B – длина ходового винта;

d_B – диаметр винта;

t_B – шаг винта;

$J_{мех}$ – суммарный момент инерции механизма;

$i_{ред}$ – передаточное число редуктора;

$\eta_{пер}$ – КПД передачи;

$\eta_{ред}$ – КПД редуктора;

Δ_K – допустимая контурная ошибка;

R_0 – радиус окружности.

Максимальную линейную скорость быстрых перемещений механизма подачи принять

$$V_{мех.быстр.перем} = 10000 \text{ мм / мин} .$$

Максимальную линейную скорость рабочих перемещений механизма подачи принять

$$V_{раб.перем} = 3000 \text{ мм / мин} .$$

Максимальную перегрузку по току электропривода выбирать из условия

$$I_{дв.макс} = (3-5) \cdot I_{дв.н} .$$

2.3. Пример расчета курсового проекта

2.3.1 Обоснование и выбор функциональной схемы системы автоматизации механизма подачи двухкоординатного металлорежущего станка

2.3.1.1 Функциональная схема системы автоматизации механизма подачи металлорежущего станка

Система числового программного управления (ЧПУ) механизмом подачи металлорежущего станка представлена в виде двухкоординатного стола и построена по архитектуре PCNC-4 (PCNC – Personal Computer Numerical Control), где все вычислительные функции, включая интерфейс, оператора и ядро ЧПУ реализованы программно на базе одной ЭВМ [22,23].

Функциональная схема приведена на рисунке 2.2 и состоит из следующих элементов:

- персональный компьютер (ПК), управляющий системой;
- комплектные регулируемые электроприводы (РЭП);
- высокомоментные электродвигатели постоянного тока М1 и М2 со встроенными тахогенераторами ВR и импульсными преобразователями перемещения ВQ;
- группа конечных $X_{\text{мин}}$, $X_{\text{макс}}$, $Y_{\text{мин}}$, $Y_{\text{макс}}$ и нулевых X_0 , Y_0 выключателей, обеспечивающая безопасную работу механизма подачи и выход системы в «ноль» станка;
- система электроавтоматики, обеспечивающая как ручной, так и автоматический режим работы станка;
- механизм подачи двухкоординатного стола металлообрабатывающего станка, состоящий из шариковинтовой пары и редуктора с коническими шестернями.

Функции цифрового управления системой, включая управление контурами положения следящих электроприводов, осуществляет ПК. Управление периферийными устройствами системы и сбор данных с датчиков реализуется с помощью установленных в системный блок ПК модулей аналогового и цифрового ввода-вывода.

Модуль дискретного ввода-вывода типа АІ-16-5А-1 принимает и предварительно обрабатывает информацию с импульсных преобразователей перемещения, а также с нулевых и конечных выключателей.

Модуль аналогового ввода-вывода типа UNIO-96-5 используется в качестве ЦАП, формируя аналоговое напряжение задания для РЭП.

В комплект РЭП входят реверсивный тиристорный преобразователь с отдельным управлением группами вентилях, М1 и М2 высокомоментные двигатели с встроенными тахогенераторами, силовые трансформаторы. Тиристорные преобразователи и силовые трансформаторы двух РЭП размещены в шкафу, а двигатели смонтированы на механической установке.

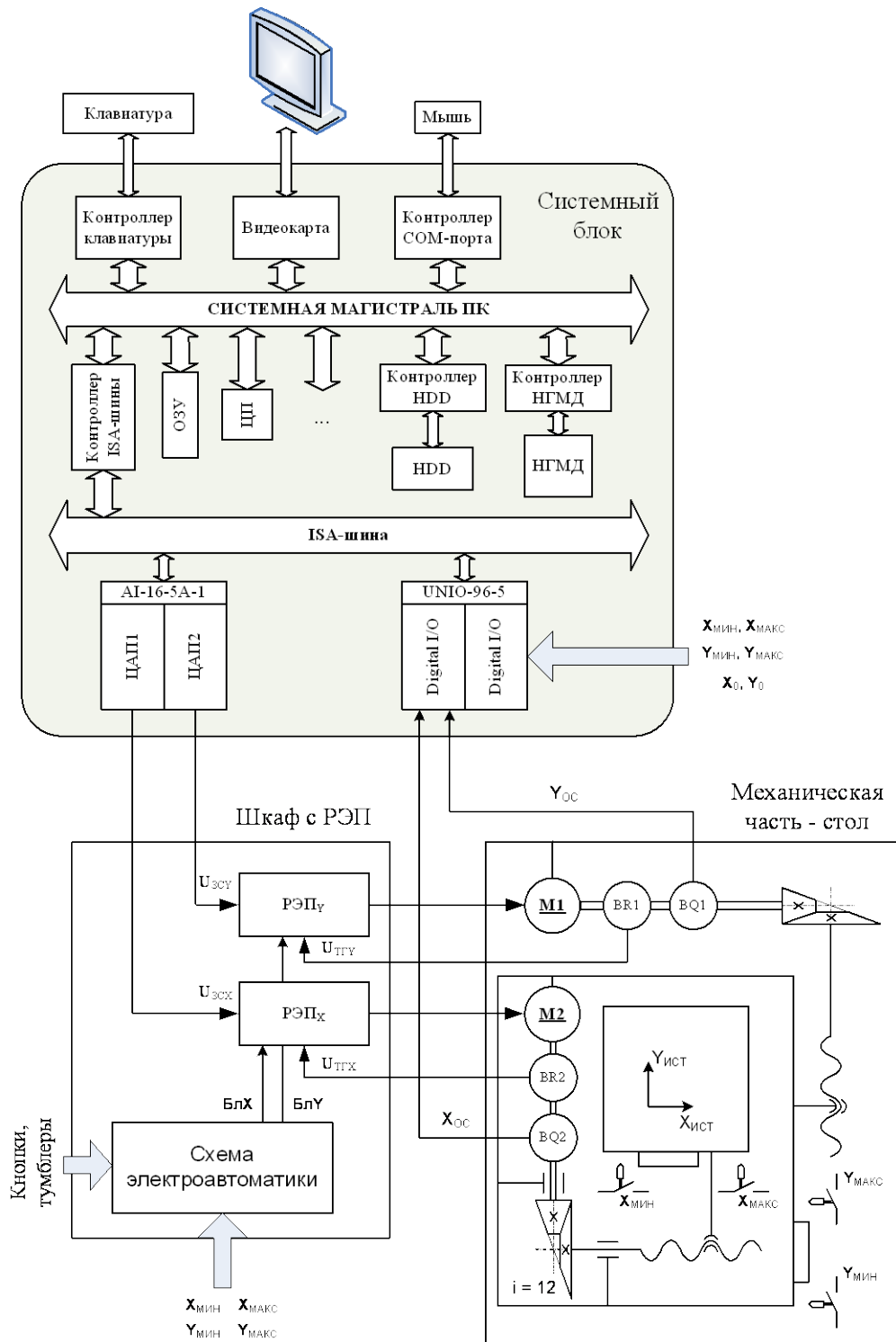


Рисунок 2.2 - Функциональная схема системы автоматизации механизма подачи металлорежущего станка

2.3.4 Механическая система электропривода

2.3.2.1 Кинематическая и расчетная схема механизма подачи

Упрощенная кинематическая схема механизма подачи одной координаты металлорежущего станка представлена на рисунке 3.1 [26].

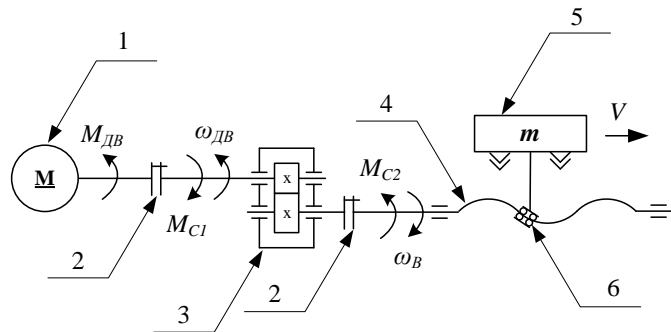


Рисунок 2.3 - Кинематическая схема механизма подачи

Принятые на рисунке 2.3 обозначения:

- 1 – электродвигатель;
- 2 – муфта;
- 3 – редуктор;
- 4 – ходовой винт;
- 5 – перемещаемая масса;
- 6 – гайка качения.

Параметры механической части системы приведены в таблице 2.2. Датчик положения следует разместить на валу двигателя либо на механизме, в соответствии с указаниями в таблице 2.3 технического задания.

Без учёта упругих связей все моменты статических нагрузок и моменты инерции приводятся к валу двигателя, и относительно этого вала составляется и решается уравнение движения. Расчётная механическая схема такой системы приведена на рисунке 2.4.

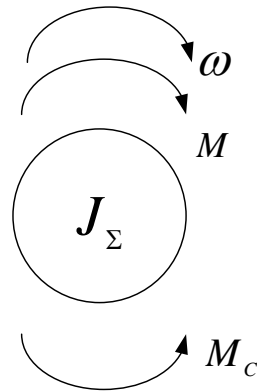


Рисунок 2.4 – Расчётная механическая схема одномассовой системы

2.3.2.2 Выбор электродвигателя

Двигатель выбирается в соответствии с нагрузкой на валу и требуемой угловой скоростью при этой нагрузке.

Выбор двигателя осуществляем по приведенному моменту нагрузки $M_{с.привед}$ [27]

$$M_{с.привед} = \frac{M_{с.нагр}}{i_{ред}} \cdot (1 + a + b) ,$$

где a – коэффициент постоянных и переменных потерь механизма;

b – коэффициент переменных потерь механизма;

$$a = b = \frac{1 - \eta_{пер} \cdot \eta_{ред}}{2 \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{ред}} \text{ – при условии } a = b ,$$

$\eta_{пер}$ – КПД передачи;

$\eta_{ред}$ – КПД редуктора.

$i_{ред}$ – передаточный коэффициент редуктора.

Момент нагрузки $M_{с.нагр}$ определяется по выражению

$$M_{с.нагр} = \frac{F_n \cdot t_g \cdot 10^{-3}}{2\pi} ,$$

где $F_n = k_p \cdot F_p + \mu \cdot F_{N\Sigma} + F_H$ – усилие рабочей подачи;

$$F_p = 9,81 \cdot C_V \cdot t^{X_V} \cdot S_{об}^{Y_V} \cdot V^{n_F} \cdot k_F \text{ – усилие резания вдоль расчетной}$$

оси, Н;

$k_p = 1 - 1,5$ - коэффициент запаса;

$\mu = 0,1$ – коэффициент трения в направляющих;

$F_{N\Sigma} = m_\Sigma \cdot g, H$ - сумма нормальных сил действующих по направляющим;

$F_H = 100 H$ - сила от предварительного натяга;

$k_F = 1$ - коэффициент, учитывающий характер резания и тип механизма.

$$V = \frac{C_V \cdot k_V}{T^m \cdot t^{X_V} \cdot S_{об}^{Y_V}} \cdot \frac{m}{мин} - \text{скорость токарной или фрезерной обработки}$$

металла.

Выбор двигателя проводится из трех условий [27]

Условие 1:

$$M_{н.дв} \geq M_{с.привед} ,$$

Условие 2

$$n_{дв.макс} \geq n_{мех.быстр.перем} ,$$

где - $n_{дв.макс}$ - максимальная скорость высокомоментного двигателя;

$n_{мех.быстр.перем}$ - скорость при быстрых перемещениях механизма подачи

Условие 3:

Момент трения на валу двигателя

$$M_{с дв} = c \cdot I_{дв.н} - M_{дв.н} ,$$

где $I_{дв.н}$ - номинальный ток двигателя,

c – конструктивный коэффициент двигателя.

Момент сопротивления от сил трения на механизме подачи, приведенный к валу двигателя

$$M_{с2} = a \cdot \frac{(\mu \cdot F_{N\Sigma} + F_H) \cdot t_\theta \cdot 10^{-3}}{i_{ред} \cdot 2\pi} .$$

Суммарный момент сопротивления от сил трения, приведенный к валу двигателя

$$\Delta M_c = M_{с дв} + M_{с2} ;$$

$$P_{дв.ном} \geq \Delta M_c \cdot \omega_{дв.быстр.перем} ,$$

где $\omega_{\text{дв.быстр.перем}}$ - угловая скорость двигателя, соответствующая скорости быстрых перемещений механизма подачи.

Высокомоментный двигатель допускает шестикратную кратковременную перегрузку по току (моменту). Рекомендуется [28] максимально допустимый ток высокомоментного двигателя выбирать из условия

$$I_{\text{дв.макс}} = (3-5) \cdot I_{\text{дв.н}}, \text{ А}$$

Максимальную скорость электропривода должно удовлетворять условию

$$n_{\text{эл.макс}} \geq \frac{V_{\text{быстр.пер}} \cdot 2\pi}{t_g \cdot i_{\text{ред}}}$$

Двигатель имеет встроенный тахогенератор ТС-1 с крутизной характеристики 0,033 В/об/мин.

Коэффициент передачи датчика скорости тахогенератора ТС – 1

$$k_{\text{дс}} = \frac{33}{104,72} = 0,315 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}},$$

где 33 В – выходное напряжение тахогенератора при скорости 104,7 рад/с.

2.3.2.3 Определение параметров механизма подачи

Суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя в одно-массовой системе [27]

$$J_{\Sigma} = J'_{\text{МЕХ}} + J'_B + J_{\text{дв}}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

где $J'_{\text{МЕХ}} = m_{\Sigma} \cdot \left(\frac{t_B}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{1}{i_{\text{ред}}^2}, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - суммарный момент инерции механизма подачи (стола), приведённый к валу двигателя;

$J'_B = D^4 \cdot 7,7 \cdot 10^2 \cdot \frac{l_B}{i_{\text{ред}}^2} =, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент инерции ходового винта, приведённый к валу двигателя.

Максимальный момент нагрузки

$$M_{\text{с.макс}} = M_{\text{хх}} + \frac{M_{\text{с.нагр.}}}{i_{\text{ред}}} \cdot (1 + b)$$

где $M_{\text{хх}}$ - момент холостого хода

$$M_{\text{хх}} = \Delta M_{\text{с}}$$

Максимальный ток нагрузки

$$I_{с.макс} = \frac{M_{с.макс}}{с} .$$

Ток холостого хода

$$I_{xx} = \frac{M_{xx}}{с} .$$

Максимальная рабочая скорость двигателя

$$n_{дв.раб.макс} = V_{раб.макс} \cdot i_{ред} \cdot \left(\frac{t_B}{2\pi} \right), \text{об/мин}$$

$V_{раб.макс} = 3000$ мм/мин – максимальная рабочая скорость подачи станка.

2.3.3 Электрическая часть силовой цепи системы САУ СЭП

2.3.3.1. Выбор тиристорного преобразователя

Основной схемой выпрямления для тиристорных преобразователей является трехфазная мостовая. Тиристорный преобразователь для управления скоростью выбранного высокомоментного двигателя выбираем из, ЭПУ-1 (производство России), «КЕМЕК», SDC1-47 (производство Болгарии) и т.д.

Выбор тиристорного преобразователя производим по максимальному току из условия [25]:

Максимально допустимый ток электропривода $I_{эп.макс}$ должен удовлетворять следующим условиям:

$$I_{эп.макс} = I_{дв.макс} , \quad \text{при } I_{дв.макс} < I_{d.макс} ;$$

$$I_{эп.макс} = I_{d.макс} , \quad \text{при } I_{d.макс} < I_{дв.макс} ,$$

где $I_{дв.макс}$ - максимальный допустимый ток двигателя;

$I_{dмакс}$ - максимальный допустимый ток тиристорного преобразователя

$$I_{dмакс} = k_{пер.тп} \cdot I_{dн}, A ,$$

$k_{пер.тп}$ - коэффициент перегрузки преобразователя,

$I_{dн}, A$ - номинальный ток тиристорного преобразователя.

2.3.3.2 Определение параметров силовой цепи

Определение параметров силовой цепи системы ТП - ДПТ, выбор силового согласующего трансформатора производится по методике, изложенной в [25,26]

Сопротивление двигателя в горячем состоянии. Примем температуру перегрева обмоток двигателя 75°C , тогда

$$R_{\text{дв.гор.}} = k_t \cdot R_{\text{дв.}} ,$$

где $k_t = 1,3$ - коэффициент, учитывающий перегрева обмоток двигателя.

Максимальная угловая скорость привода

$$\omega_{\text{эп.макс}} = \frac{n_{\text{эп.макс}}}{9,55}, \text{ рад} / \text{с} \cdot$$

Максимальное напряжение на двигателе при работе с $\omega_{\text{эп.макс}}$ и допустимой предельной перегрузкой

$$U_{\text{дв.макс}} = c \cdot \omega_{\text{эп.макс}} + I_{\text{эп.макс}} \cdot R_{\text{дв.гор.}}, \text{ В}$$

2.3.3.2.1 Выбор согласующего силового трансформатора

Расчётное значение фазной ЭДС вентильной обмотки трансформатора

$$U_{2\text{ф.расч}} = \frac{k_{u2} \cdot k_{\alpha}}{k_{U_c}} \left(1 + k_R \cdot \frac{I_{\text{эп.макс}}}{I_{\text{дв.н}}} \right) U_{\text{дв.макс}}, \text{ В} ,$$

где $k_{u2} = 0,428$ - коэффициент схемы для трёхфазной мостовой схемы выпрямления;

$$k_{\alpha} = \frac{1}{\cos \alpha_{\text{мин}}} = \frac{1}{\cos 10^{\circ}} = 1,015 - \text{коэффициент, учитывающий неполное от}$$

крытие тиристорov управляемого преобразователя;

$\alpha_{\text{мин}}$ - минимальный угол управления, предварительно принимаем

$$\alpha_{\text{мин}} = 10^{\circ};$$

$k_{U_c} = 0,85$ - коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжения сети;

$k_R = 0,05 \div 0,1$ - коэффициент, учитывающий падение напряжения на внутреннем сопротивлении управляемого выпрямителя;

Расчётное значение линейной ЭДС вентильной обмотки трансформатора (предполагаем соединение обмоток «звезда»)

$$U_{2л.расч} = \sqrt{3} \cdot U_{2ф.расч}, B$$

Расчётное значение фазного тока вентильной обмотки трансформатора

$$I_{2ф.расч} = k_i \cdot k_{i2} \cdot I_d, A,$$

где $k_i = 1,05 \div 1,1$ - коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной;

$k_{i2} = 0,815$ - коэффициент, характеризующий отношение $I_{2ф} / I_d$

для трёхфазной мостовой схемы выпрямления;

I_d - среднее значение выпрямленного тока ($I_d = I_{дв.н}$).

Расчётная мощность трансформатора

$$S_{ТР.расч} = k_S \frac{U_{2ф.расч}}{k_{u2}} k_i \cdot I_{d0}, B \cdot A$$

где $k_S = 1,045$ для трёхфазной мостовой схемы выпрямления.

Максимальная мощность, отдаваемая трансформатором в режиме перегрузки двигателя.

$$S_{ТР.МАКС} = k_S \left[1 + k_R \cdot \frac{I_{дон}(P_{дв.макс})}{I_{d0}} \right] \cdot k_i \cdot P_{дв.макс}, B \cdot A.$$

Выбираем трансформатор из следующих условий

$$S_{ТР} \geq S_{ТР.расч}, B \cdot A; \quad S_{ТР} \geq \frac{S_{ТР.МАКС}}{\lambda_{ТР}}, B \cdot A,$$

где $\lambda_{ТР} = 2,5$ - коэффициент допустимой перегрузки трансформатора (при длительности не более 3с);

Выбираем трансформатор [26].

Определим фазное напряжение и ток вентильной обмотки трансформатора

$$U_{2фн} = \frac{U_{2н}}{\sqrt{3}}, B; \quad I_{2фн} = \frac{P_{2н}}{U_{2фн} \cdot m_2}, A$$

Определим активное сопротивление и индуктивность вентильной обмотки на фазу

$$R_{mp.\phi} = \frac{\Delta P_{кз}}{I_{2\phi n}^2 \cdot m_2}, Ом ; z_{mp.\phi} = \frac{U_{кз\%} \cdot U_{2\phi n}}{100 \cdot I_{2\phi n}}, Ом ;$$

$$x_{mp.\phi} = \sqrt{z_{mp.\phi}^2 - R_{mp.\phi}^2}, Ом ; L_{mp.\phi} = \frac{x_{mp.\phi}}{\omega_c}, Гн .$$

Сопротивление силовой цепи

$$R_{ТП} = 2 \cdot R_{mp.\phi} + R_{к}, Ом ,$$

где $R_{к} = \frac{m_g \cdot x_{mp.\phi}}{2\pi}, Ом$ – сопротивление обусловленное явлением коммутации;

Сопротивление цепи двигателя

$$R_{ц.дв} = R_{дв.гор} + 0,1 \cdot R_{дв.гор}, Ом .$$

Сопротивление якорной цепи

$$R_{яц} = R_{ТП} + R_{ц.дв}, Ом .$$

Индуктивность якорной цепи

$$L_{яц} = L_{дв} + 2 \cdot L_{mp.\phi}, Гн .$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}}, с .$$

2.3.3.3 Проверка обеспечения заданной области существования электромеханических характеристик электропривода

Заданная область существования электромеханических характеристик электропривода замкнутой системы, ограниченная значениями $\omega = \pm \omega_{\text{нп макс}}$ и зависимостью $\pm I_{\text{дон}}(\omega)$, должна полностью располагаться внутри области существования характеристик проектируемой разомкнутой системы преобразователь – двигатель. Последняя в свою очередь ограничена предельными характеристиками соответствующими работе проводящей группе тиристоров в выпрямительном режиме при минимальном угле управления, а в инверторном режиме – режиму предельного инвертирования.

Характеристики рассчитываются при пониженном напряжении сети, то есть при $k_{Uc} = 0,85$ [25].

Работа электропривода в 1 и 3 квадрантах.

Машина работает в двигательном режиме, преобразователь работает в выпрямительном режиме (угол управления $\alpha < 90^\circ$).

Минимальный угол управления преобразователем находится из условия обеспечения максимальной скорости электропривода $\omega_{\text{ЭП макс}}$ при токе холостого хода двигателя $I_{\text{хх}}$

$$\alpha_{\text{мин}} \leq \arccos\left(\frac{c \cdot \omega_{\text{ЭП макс}} + I_{\text{хх}} \cdot R_{\text{яц}}}{k_{\text{Ус}} \cdot E_{\text{д0}}}\right), \text{град.}$$

Принимаем $\alpha_{\text{мин}} = 10^\circ$.

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы ТП–Д при $\alpha_{\text{мин}} = 10^\circ$.

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{1}{c} \cdot (k_{\text{Ус}} \cdot E_{\text{д0}} \cdot \cos \alpha_{\text{мин}} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{я}})$$

Расчеты сводим в таблицу 2.5.

Таблица 2.5

$I_{\text{я}}, \text{А}$	0	$I_{\text{дв.н}}$	$I_{\text{ЭП макс}}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$			

Работа электропривода во 2 и 4 квадрантах.

Электрическая машина работает в генераторном режиме (режим рекуперативного торможения).

Предельная характеристика безопасного инвертирования при работе преобразователя в инверторном режиме:

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{1}{c} \cdot (k_{\text{Ус}} \cdot E_{\text{д0}} \cdot \cos \delta + (R_{\text{тп}} - R_{\text{ц.дв}}) \cdot I_{\text{я}}),$$

$\delta = 6^\circ$ – угол запаса при инвертировании.

Результаты расчета сводим в таблицу 2.6.

Таблица 2.6

$I_{\text{я}}, \text{А}$	0	$-I_{\text{дв.н}}$	$-I_{\text{ЭП макс}}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$			

Максимальный угол управления преобразователем при работе в инверторном режиме:

$$\alpha_{\max} = \arccos \left(\frac{2 \cdot R_{\text{тп}} \cdot I_{\text{эл макс}}}{k_{Uc} \cdot E_{d0}} - \cos \delta \right).$$

Электромеханическая характеристика разомкнутой системы ТП – Д при угле управления α_{\max}

$$\omega(I_{\text{я}}) = \frac{1}{c} \cdot (-k_{Uc} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\max} - R_{\text{яц}} \cdot I_{\text{я}})$$

Расчеты сводим в таблицу 2.7.

Таблица 2.7

$I_{\text{я}}, \text{А}$	0	$I_{\text{дв.н}}$	$I_{\text{эл макс}}$
$\omega, \frac{\text{рад}}{\text{с}}$			

По результатам таблиц 2.5-2.7 строим предельные характеристики системы ТП-Д. Пример построения предельных характеристик системы ТП-Д представлен на рисунке 2.5.

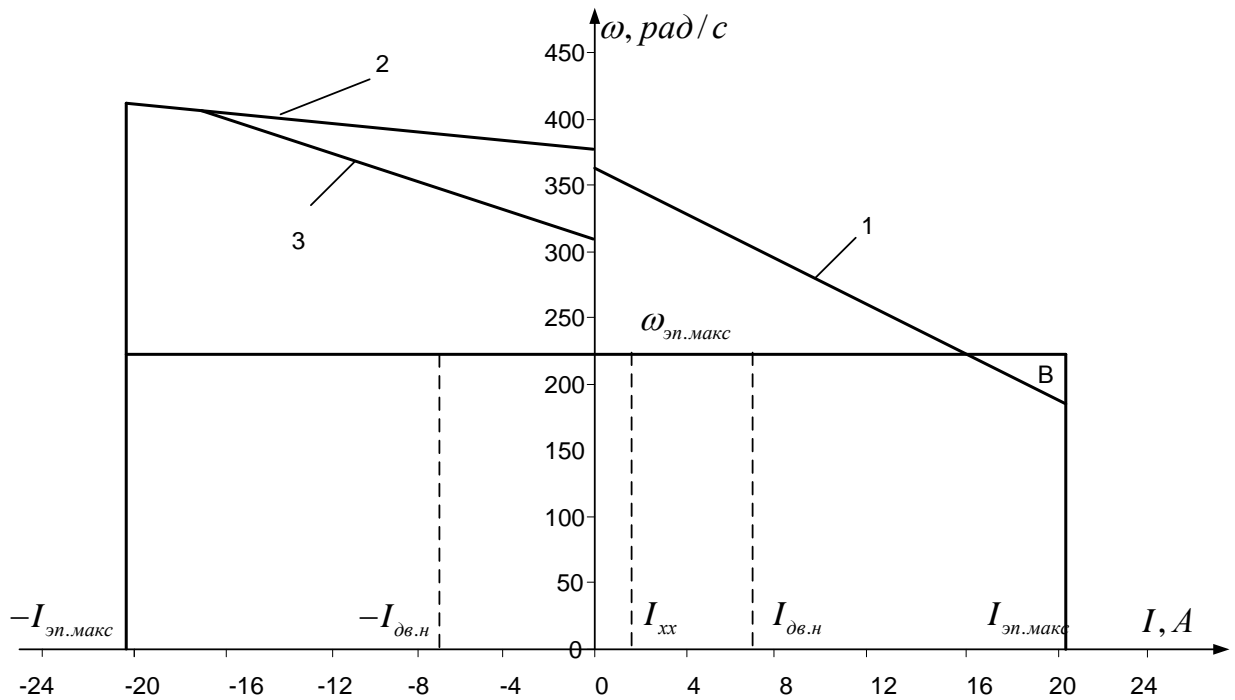


Рисунок 2.5 – Предельные характеристики электропривода:

1 – электромеханическая характеристика привода в выпрямительном режиме при $\alpha_{\min} = 10^0$; 2 – характеристика предельного безопасного инвертиро-

вания; 3 - электромеханическая характеристика привода в инверторном режиме при α_{\max} .

ВЫВОД: 1. При пониженном напряжении сети при токе холостого хода I_{xx} и номинальном токе двигателя $I_{дв.н}$ привод обеспечивает максимальную скорость вращения электропривода $\omega_{эн.макс}$. Наличие области «В» говорит о неполном использовании динамического момента при пуске двигателя на максимальную скорость.

2.3.3.4 Структурная схема силового канала электропривода

Структурная схема силового канала представлена на рисунке 2.6.

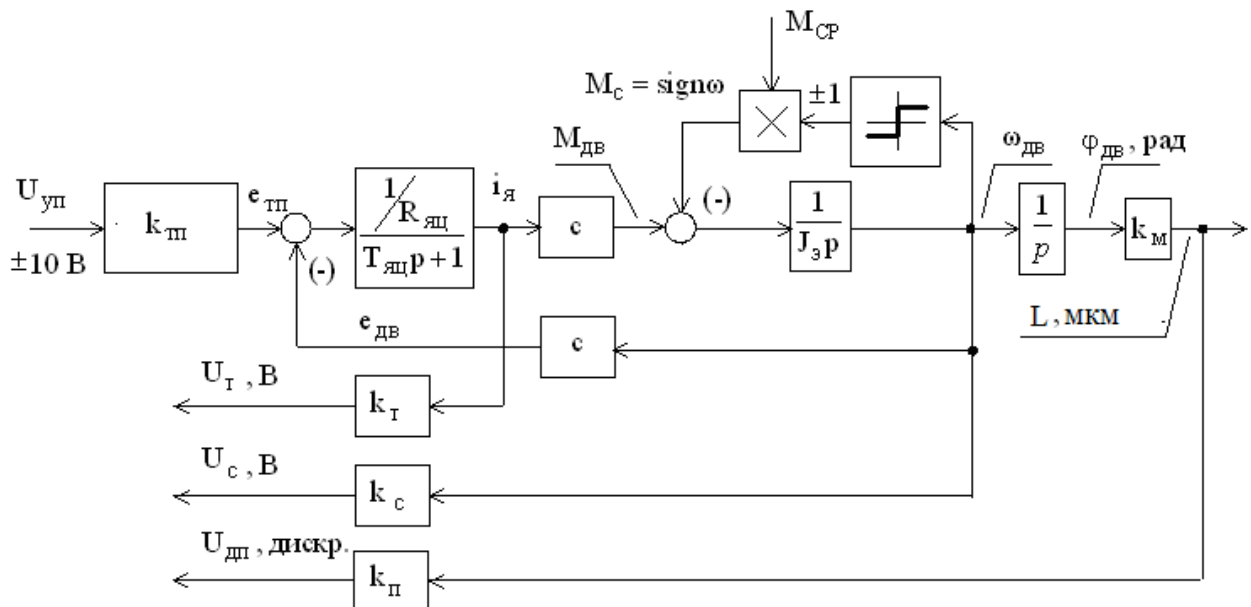


Рисунок 2.6 - Структурная схема силового канала следящего электропривода

Определим параметры тиристорного электропривода [25]:

- максимальное значение коэффициента усиления тиристорного преобразователя

$$k_{ТП} = \frac{\pi \cdot k_{yo} \cdot E_{d0}}{2 \cdot U_{on.MAX}}$$

где $k_{yo} = 1$ коэффициент передачи управляющего органа;

$2 \cdot U_{ОП.макс} = 8 \div 10 В$ - размах линейного опорного напряжения;

Принимаем $2 \cdot U_{ОП.макс} = 10 В$.

Коэффициент обратной связи по току

$$k_T = \frac{U_{рс.макс}}{I_{эп.макс}}, \frac{В}{А}, \quad (4.1)$$

где $U_{рс.макс} = 10 В$ – максимальное значение напряжения регулятора скорости.

Коэффициент обратной связи по скорости

$$k_c = \frac{U_{з.макс}}{\omega_{эп.макс}}, \frac{В \cdot с}{рад}. \quad (4.2)$$

Параметры структурной схемы силового канала электропривода сведем в таблицу 2.8.

Таблица 2.8

$U_{уп}$	$k_{ТП}$	$R_{яц}$	$T_{яц}$	c	J_{Σ}	k_M	k_T	k_c
В	с	Ом	с	$\frac{В \cdot с}{рад}$	кг·м ²	$\frac{мкм}{рад}$	$\frac{А}{В}$	$\frac{В \cdot с}{рад}$
±10								

$$K_M = \frac{t_B \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot i_{ред}}, мкм / рад - \text{коэффициент передачи механизма подачи.}$$

2.3.4 Линеаризованная САУ СЭП

2.3.4.1 Структурная схема линеаризованной САУ СЭП

Структурная схема линеаризованной САУ СЭП представлена на рисунке 2.7.

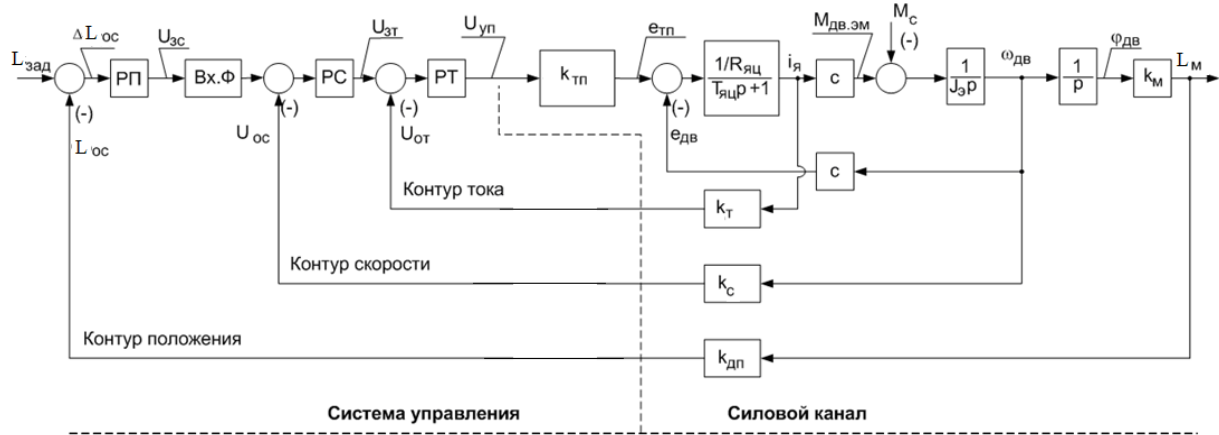


Рисунок 2.7 – Структурная схема линеаризованной САУ СЭП

Для реализации САУ СЭП принимается структура с пропорциональным регулятором положения (П-РП). На первом этапе исследования САУ СЭП пренебрегаем дискретностью датчика положения и значения как задания на положение $L_{зад}$, так и величину пути L_M выражают в мкм. В этом случае $K_{дп} = 1$.

Приведенная на рисунке 2.7 схема содержит следующие элементы:

1. $L_{зад}$ - задание по положению, мкм;
2. РП - регулятор положения;
3. Вх.Ф - фильтр на входе регулируемого электропривода;
4. РС - ПИ-регулятор скорости;
5. РТ - ПИ-регулятор тока;
6. $K_{ТП}$ - коэффициент усиления тиристорного преобразователя;
7. $\frac{1}{R_{яц}} / (T_{яц}p + 1)$ передаточная функция якорной цепи;
8. c - конструктивная постоянная двигателя;

9. J_{Σ} - эквивалентный момент инерции равный суммарному момент инерции, приведённому к валу двигателя;
10. K_M - коэффициент передачи механизма;
11. k_T - коэффициент обратной связи по току;
12. k_c - коэффициент обратной связи по скорости;
13. $K_{дп}$ - коэффициент обратной связи по положению.

2.3.4.2 Определение оптимальных настроек контуров СЭП

Определение оптимальных настроек контуров СЭП производится по методике Д.А. Поздеева, изложенной в [26]. При этом производится расчет параметров регуляторов тока, скорости, положения.

Для оптимальной настройки САУ СЭП с П-РП в [26] предлагается 5 точка настройки, для реализации которой определяются следующие безразмерные коэффициенты оптимизации, приведённые в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Точка настройки	Коэффициенты оптимизации				
	A_*	B_*	C_*	A_{*0}	K_{ω}
5	0,88	0,21	0,74	0,486	0,286

Расчетные выражения для оптимальных параметров настройки САУ СЭП имеют следующий вид.

Коэффициент регулятора скорости

$$K_{pc} = \frac{A_* \cdot J_{\Sigma} \cdot k_T}{c \cdot k_c} \cdot \frac{\omega_p}{C_*},$$

где $\omega_p = 2 \cdot \pi \cdot f_p = 2 \cdot \pi \cdot 20 = 125 \frac{рад}{с}$ - резонансная частота, соответствующая полосе пропускания частот замкнутого контура скорости тиристорного электропривода 20Гц;

k_T, k_c - коэффициенты обратной связи по току и скорости;

c - конструктивный коэффициент двигателя;

A_*, B_*, C_* - коэффициенты оптимизации;

J_{Σ} - суммарный момент инерции, приведённый к валу двигателя.

Постоянная времени регулятора скорости

$$T_{pc} = \frac{A_*}{B_*} \cdot \frac{C_*}{\omega_p}, \text{ с.}$$

Коэффициент регулятора тока

$$K_{PT} = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц} \cdot \omega_p}{K_{ТП} \cdot k_{\tau} \cdot C_*},$$

где $K_{ТП}$ - коэффициент усиления тиристорного преобразователя;

$R_{яц}$ - активное сопротивление якорной цепи;

$T_{яц}$ - электромагнитная постоянная якорной цепи.

Постоянная времени регулятора тока принимается равной

$$T_{PT} = T_{яц}, \text{ с.}$$

Фильтр на входе контура скорости имеет передаточную функцию

$$W(p) = \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1} = \frac{0,014 p + 1}{0,025 p + 1},$$

где T_1 постоянная времени фильтра определяется по выражению

$$T_1 = \frac{1}{B_*} \cdot \frac{C_*}{\omega_p} \cdot A_0,$$

где A_0 - коэффициент оптимизации фильтра.

Постоянная времени фильтра T_2 принимается равной

$$T_2 = T_{pc}, \text{ с.}$$

Постоянная времени оптимизированного контура тока

$$T_T = \frac{T_{яц} \cdot R_{яц}}{K_{ТП} \cdot k_{\tau} \cdot K_{PT}},$$

Расчетная резонансная частота

$$\omega_p = \frac{C_*}{T_T}, \text{ с}^{-1}.$$

Коэффициент усиления регулятора положения

$$W_{PI} = K_{PI} = \frac{K_{\omega} \cdot k_c \cdot \omega_p}{K_{\Pi} \cdot K_M \cdot C_*},$$

где $K_{\Pi} = 1$ - коэффициент обратной связи по положению;

K_{ω} - коэффициент оптимизации контура положения;

K_M - коэффициент передачи механизма подачи.

2.3.4.3 Определение и оценка ожидаемых показателей качества работы СЭП

По структурной схеме линеаризованной САУ СЭП рисунка 2.7 разрабатывается линейная модель в среде MatLab, показанная на рисунке 2.8.

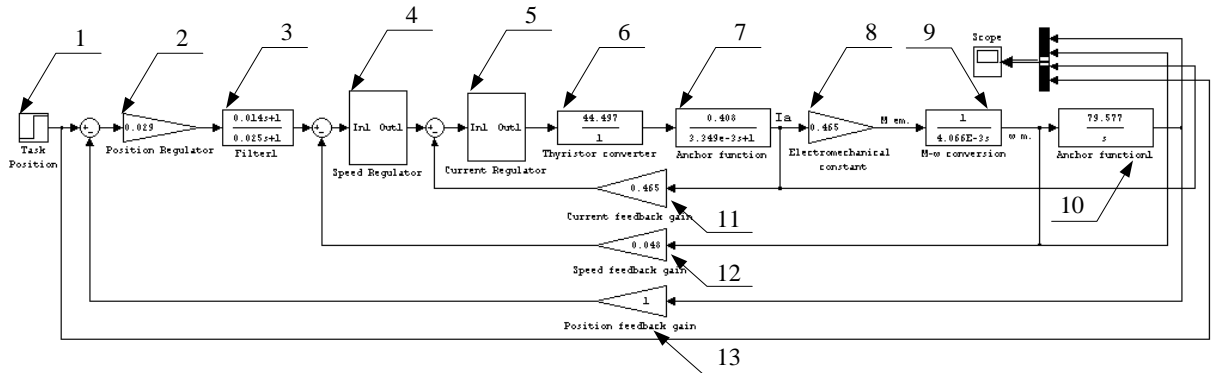


Рисунок 2.8 - Линейная модель СЭП в среде MatLab

Приведенная на рисунке 2.8 модель содержит следующие элементы:

1. задание по положению;
 2. П - регулятор положения;
 3. фильтр на входе регулируемого электропривода;
 4. ПИ - регулятор скорости;
 5. ПИ - регулятор тока;
 6. коэффициент усиления тиристорного преобразователя;
 7. передаточная функция электрического контура двигателя;
 8. конструктивный коэффициент двигателя – C ;
 9. блок, учитывающий эквивалентный момент инерции. Описывается выражением $\frac{1}{J_{\Sigma} p}$;
 10. передаточная функция механизма, описывается выражением: $\frac{K_M}{p}$.
- Здесь K_M – коэффициент передачи механизма;
11. коэффициент обратной связи по току;
 12. коэффициент обратной связи по скорости;
 13. коэффициент обратной связи по положению.

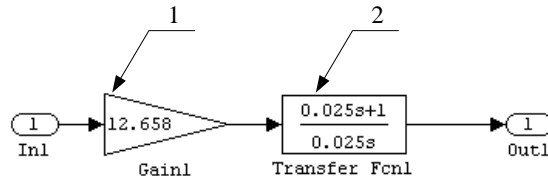


Рисунок 2.9 - ПИ-Регулятор скорости

На рисунке 2.9 приняты обозначения:

1. коэффициент усиления регулятора скорости;
2. интегральная составляющая регулятора скорости.

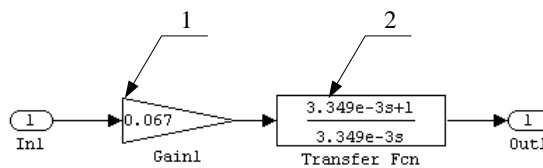


Рисунок 2.10 - ПИ-регулятор тока

На рисунке 2.10 приняты обозначения:

1. коэффициент усиления регулятора тока;
2. интегральная составляющая регулятора тока.

Для оценки адекватности разработанной модели достаточно сформировать любое задание по положению, например - $L_{3AD} = 100 \text{ мкм}$, т.к. модель не имеет нелинейностей и ограничений выходных сигналов регуляторов и тиристорного преобразователя.

Строятся графики переходных процессов в контурах тока, скорости и положения, оценивается адекватность разработанной модели ожидаемых показателей качества работы СЭП [26].

ВЫВОД: Полученные и ожидаемые показатели переходного процесса в контуре положения при отработке скачка управляющего воздействия практически совпадают.

2.3.5 Двухкоординатная САУ СЭП механизма подачи

2.3.5.1 Структурная схема нелинейной двухкоординатной САУ СЭП

Полученные ранее параметры электропривода и цифрового контура положения занесём в модель двухкоординатного следящего электропривода в среде MatLab (рисунок 2.12).

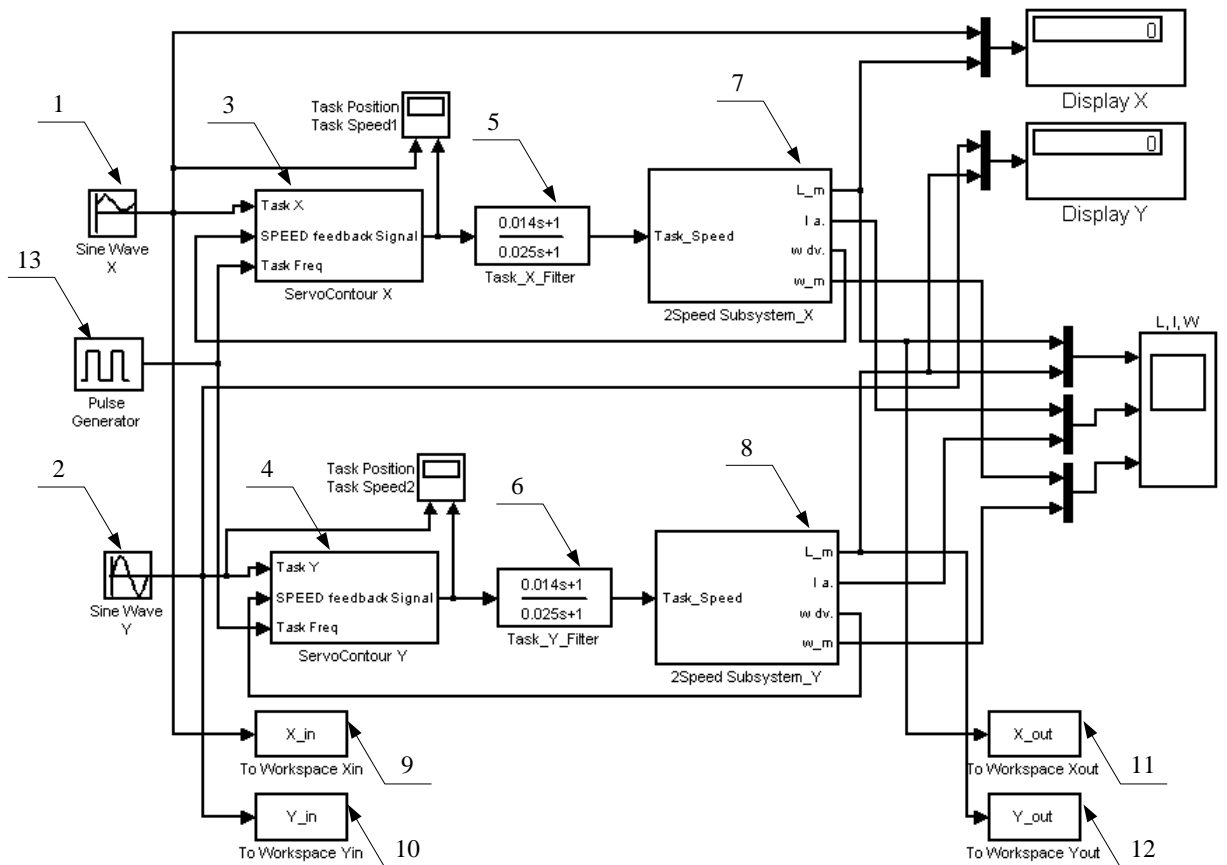


Рисунок 2.12 - Модель двухкоординатного следящего электропривода в среде MatLab

На рисунке 6.1 приняты следующие обозначения:

- 1,2 – блоки генератора синусоидального сигнала;
- 3,4 – подсистемы цифрового контура положения;
- 5,6 – входные фильтры РЭП;

- 7,8 – подсистемы РЭП с механической частью;
- 9,10 – блоки, выполняющие запись массивов входных воздействий по положению в Workspace;
- 11,12 – блоки, выполняющие запись массивов выходных сигналов по положению в Workspace.
- 13 – блок, в котором указывается период частоты квантования сигнала управления по времени.

2.3.5.2 Цифровой контур положения

Поскольку структуры моделей следящих электроприводов по осям X и Y идентичны, то для их описания достаточно рассмотреть вариант по оси X.

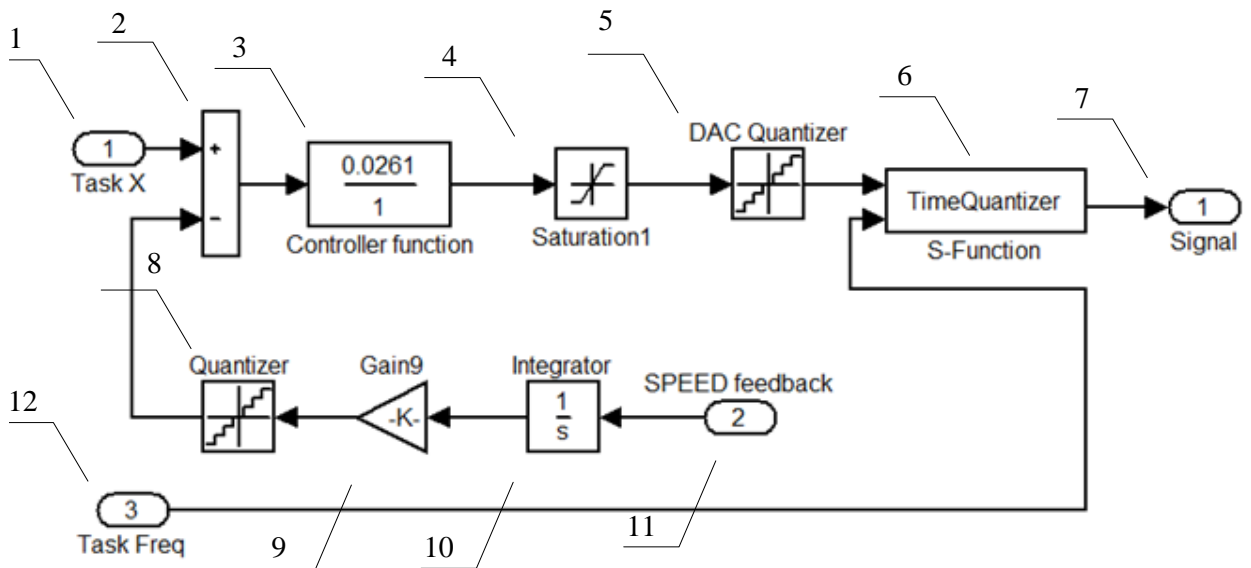


Рисунок 2.13 - Подсистема цифрового контура положения

На рисунке 2.13 приняты следующие обозначения:

- 1. входной сигнал задания по положению;
- 2. блок сумматора;
- 3. регулятор положения;
- 4. блок ограничения выходного сигнала;
- 5. блок квантования выходного сигнала управления (дискретность цифро-аналогового преобразователя) по уровню;
- 6. блок квантования сигнала по времени;

7. выходной сигнал задания по скорости;
8. блок квантования сигнала энкодера по уровню;
9. коэффициент механизма;
10. блок интегратора;
11. входной сигнал обратной связи по скорости двигателя;
12. задание периода частоты квантования по времени.

В подсистеме цифрового контура положения этой модели есть блок с S-Function (file - TimeQuantizer.mexw32), который необходимо поместить в одну папку с файлом основной модели:

servodrive_051x_2Axis_KATP_v2_1.mdl

TimeQuantizer.mexw32

Указать выбранную папку как текущую, что показано на рисунке 2.14.

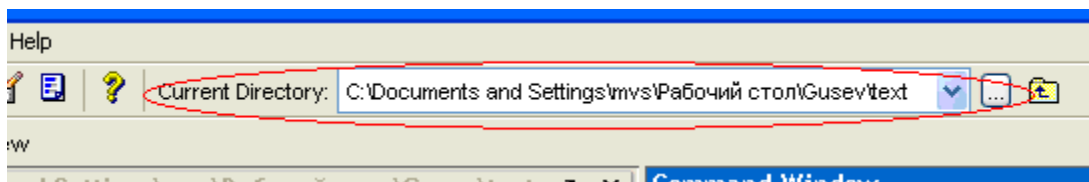


Рисунок 2.14

В подсистеме на рисунке 2.13 контура положения вводим следующие индивидуальные параметры:

–период квантования по времени выходного сигнала контура положения, блок 13. В примере (рисунок 2.15) период равен 0,01с, что соответствует частоте квантования 100 Гц;

–блок 3, коэффициент регулятора положения K_{PI} , (рисунок 6.5);

–блок 4, параметры блока ограничения выходного сигнала, диапазон выходного сигнала +10..-10 В (рисунок 2.17);

–параметры квантования по уровню, характеризующие ЦАП, блок 5. В приведенном примере (рисунок 2.18) интервал квантования по уровню указан выражением 20/4095. Здесь 20 – это диапазон выходного сигнала по модулю, 4095 – количество состояний формируемых ЦАП. Количество состояний определяется по формуле $2^n - 1$, здесь n – разрядность ЦАП.

–параметр квантования сигнала энкодера, блок 8. В нем указывается минимальный интервал квантования сигнала по уровню. В примере (рисунок 2.19) указано выражение 1/2500. Здесь 2500 – число импульсов выда-

ваемых энкодером на один оборот вала двигателя (брать из паспортных данных энкодера).

–параметры блока 9, учитывающие параметры механической передачи. В примере (рисунок 2.20) указано выражение $1e^3 \cdot 6/12$. Здесь $t_B = 6\text{мм}$ – шаг винта; $i_{ред} = 12$ – передаточное число редуктора. При вводе данных число $1e^3$ оставить прежним т.к. оно отвечает за приведение выходного сигнала блока к мкм.

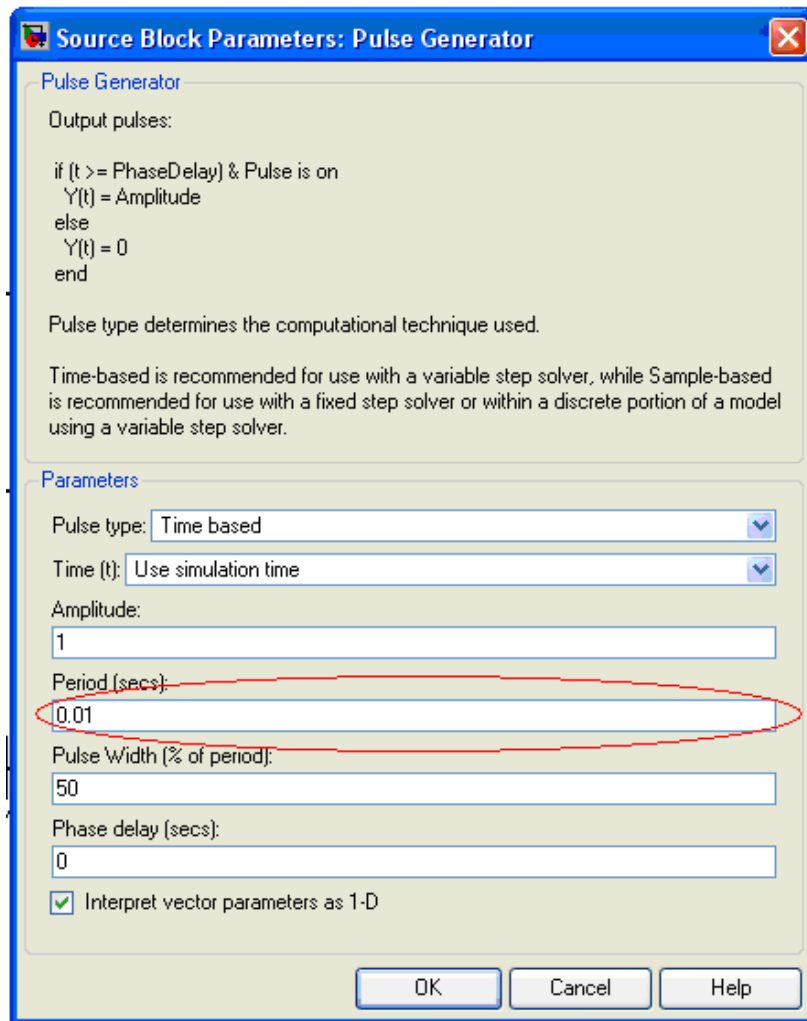


Рисунок 2.15 - Окно ввода периода квантования по времени в контуре положения, блок 13

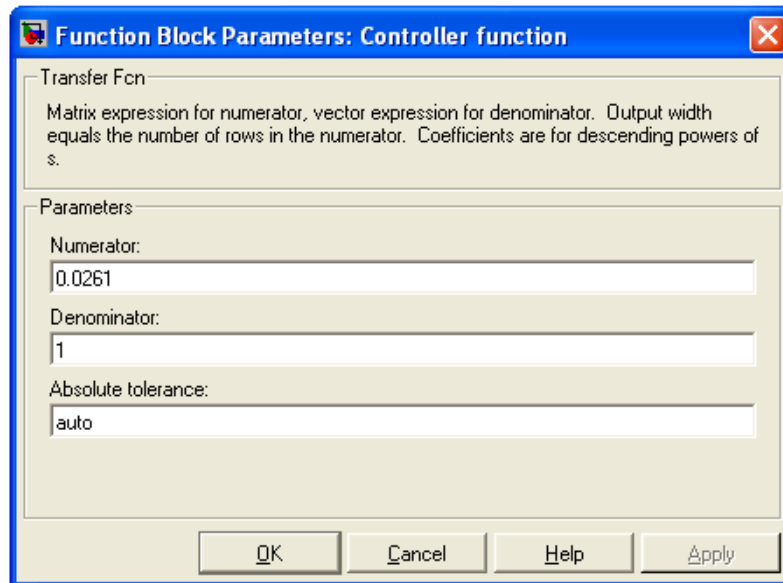


Рисунок 2.16 - Окно ввода параметров регулятора положения, блок 3

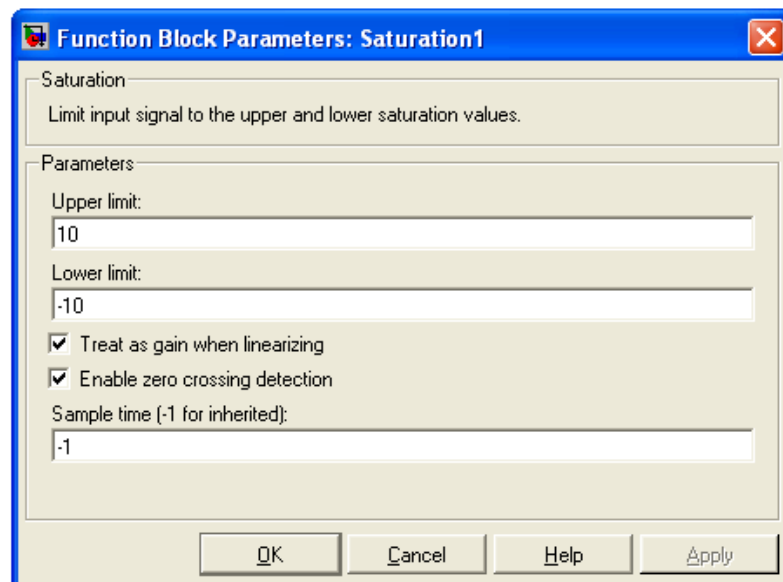


Рисунок 2.17 - Окно ввода диапазона выходного сигнала ЦАП, блок 4

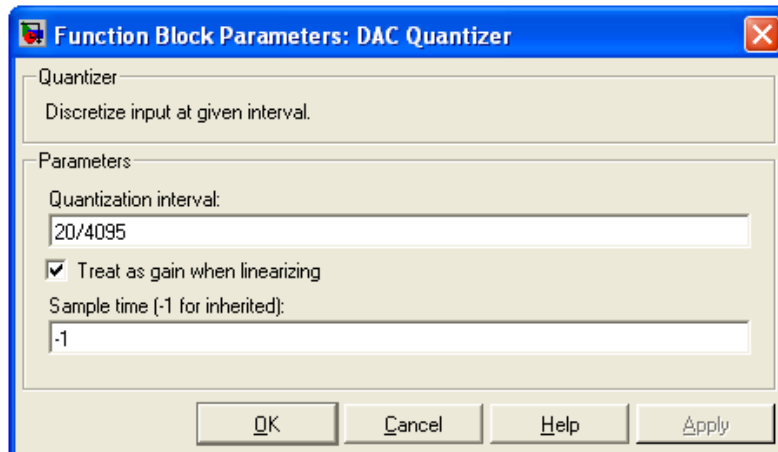


Рисунок 2.18 - Окно ввода параметров блока квантования по уровню ЦАП, блок 6

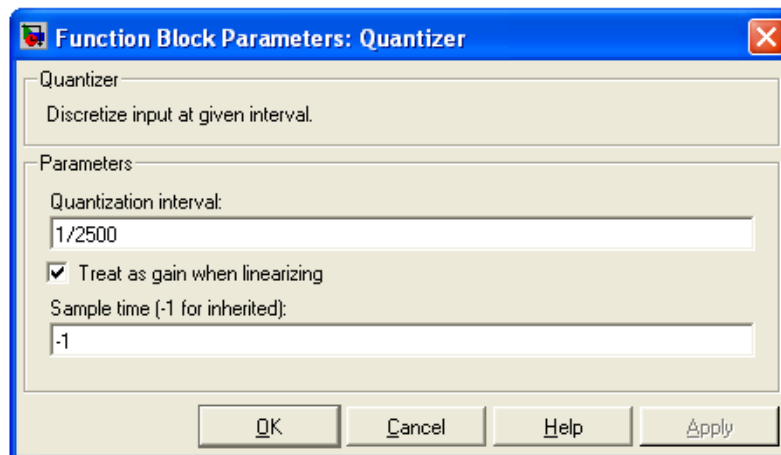


Рисунок 2.19 - Окно ввода параметров блока квантования сигнала энкодера, блок 7

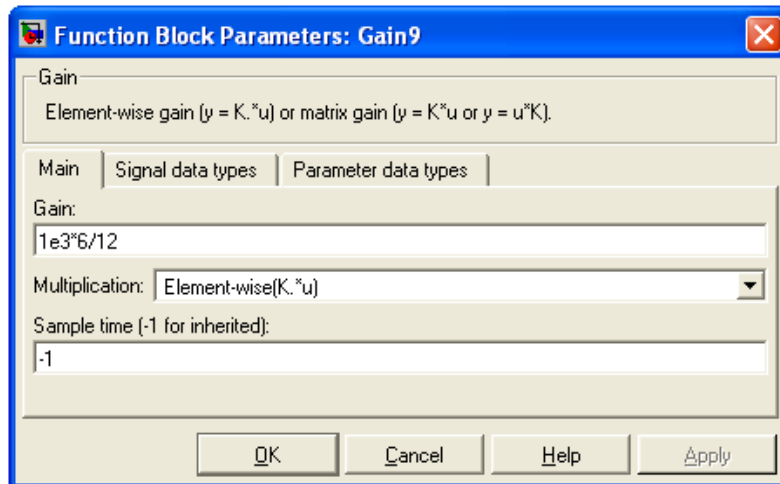


Рисунок 2.20 - Окно блока учитывающего параметры механической передачи, блок 9

2.3.5.3 Подсистема РЭП

Подсистема РЭП, блок 7 на рисунке 2.12 включает модель электропривода с механической частью. На входе РЭП установлен фильтр (блок 5 на рисунке 2.12) предназначенный для оптимизации реакции РЭП на входное воздействие. Окно ввода параметров блока показано на рисунке 2.21. Вверху строка [0.014 1] описывает числитель а строка [0.025 1] знаменатель передаточной функции фильтра $\frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1} = \frac{0,014 + 1}{0,025 + 1}$.

ВНИМАНИЕ: При вводе параметров следует обратить внимание, что числа в числителе и знаменателе пишутся через пробел.

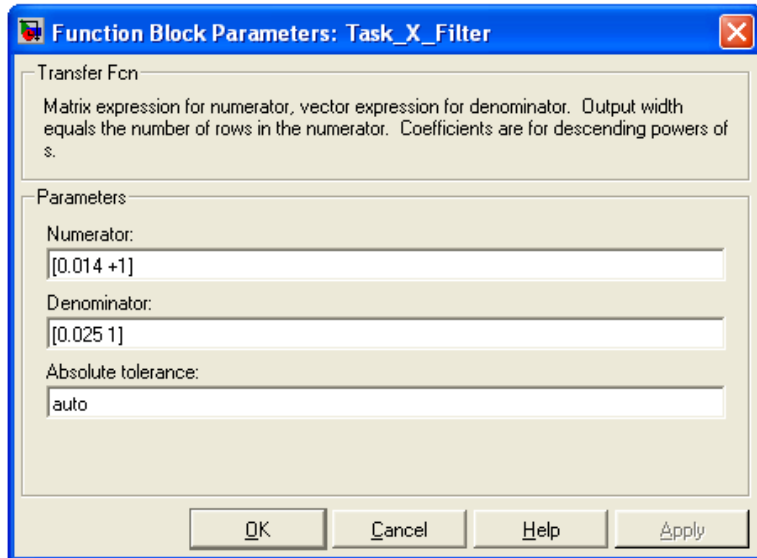


Рисунок 2.21 - Окно блока с параметрами фильтра РЭП

Приведенная на рисунке 2.22 подсистема содержит следующие блоки:

1. блок входного сигнала задания по скорости;
2. подсистема ПИ-регулятора скорости;
3. подсистема контура тока;
4. коэффициент положительной обратной связи по ЭДС двигателя;
5. механическая подсистема;
6. электромеханическая постоянная;
7. коэффициент обратной связи по скорости;
8. выходной сигнал тока двигателя;
9. выходной сигнал положения механизма;
10. выходной сигнал скорости второй массы;
11. выходной сигнал скорости вращения вала двигателя.

ВНИМАНИЕ: обратная связь по скорости, поступающая на регулятор снимается с вала двигателя, поскольку энкодер установлен на валу двигателя и не охватывает механическую систему.

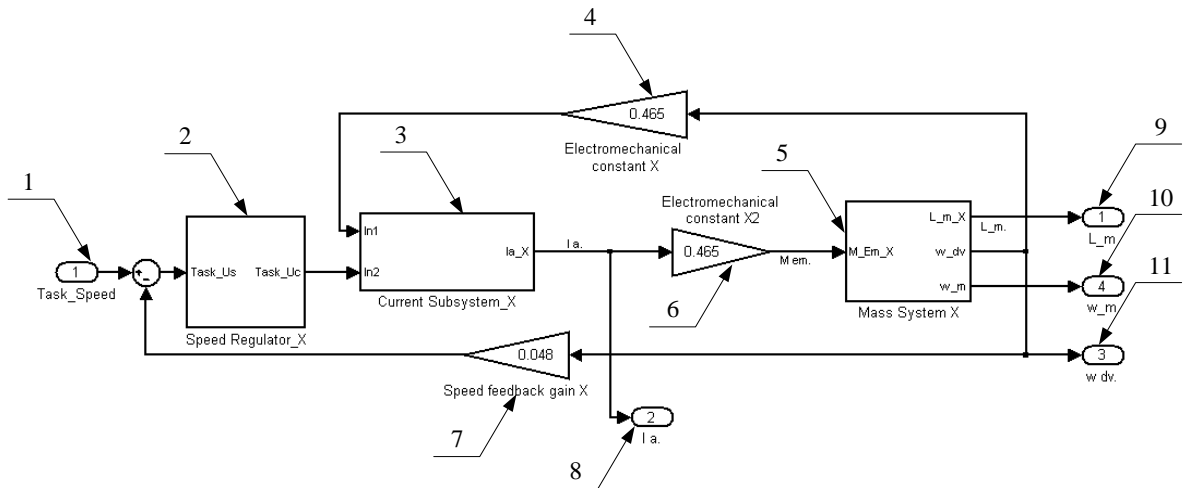


Рисунок 2.22 - Подсистема РЭП

В описанной подсистеме РЭП на 2.22 следует ввести следующие индивидуальные параметры:

- коэффициенты отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя c , блоки 4, 6;
- блок 7 - коэффициент обратной связи по скорости k_c ;

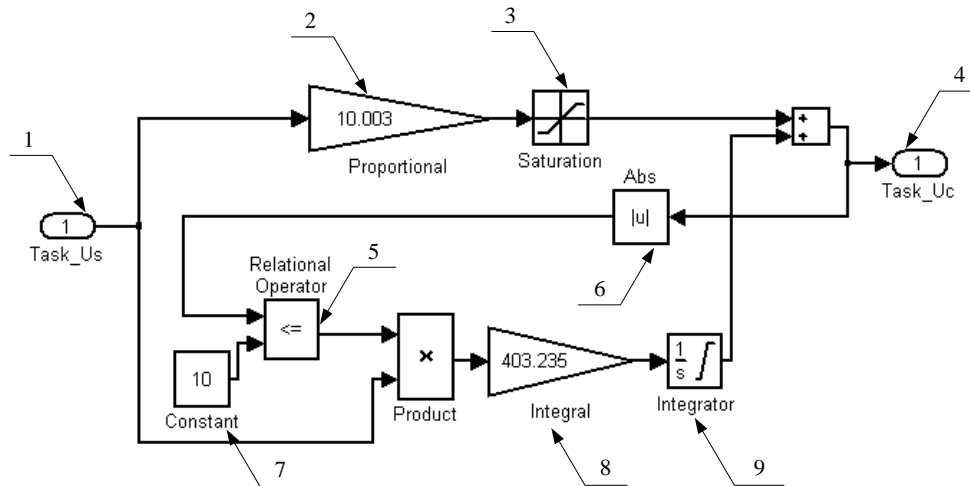


Рисунок 2.23 - Подсистема регулятора скорости

Ввиду того, что в библиотеке стандартных функций среды MatLab/Simulink нет передаточных функций нелинейного ПИ-регулятора, была разработана модель регулятора (см. рисунок 2.23), особенностью, которой является раздельное ограничение пропорциональной и интегральной

составляющей. Вследствие такого приема можно получить реакцию идеального регулятора на входное воздействие в виде двуполярного прямоугольного сигнала (рисунок 2.24).

Основными элементами модели регулятора (рисунок 2.23) являются следующие блоки:

1. блок входного сигнала;
2. коэффициент пропорциональной составляющей регулятора;
3. ограничение выходного сигнала по каналу пропорциональной составляющей;
4. блок выходного сигнала;
5. блок сравнения сигнала пропорциональной составляющей с ограничением выходного сигнала регулятора 10 В ;
6. блок определения модуля сигнала пропорциональной составляющей;
7. максимальная величина выходного сигнала регулятора 10 В ;
8. коэффициент интегральной составляющей;
9. звено интегратора.

При подаче входного сигнала происходит скачкообразное изменение значения пропорциональной составляющей выходного сигнала. После этого интегральная составляющая, в свою очередь, продолжает расти до наступления насыщения регулятора или заданного выходного значения. Интегратор (блок 9) в этом случае отключается до момента времени выхода регулятора из насыщения. Приведенный на рисунок 2.24 вид переходного процесса соответствует идеальному нелинейному регулятору.

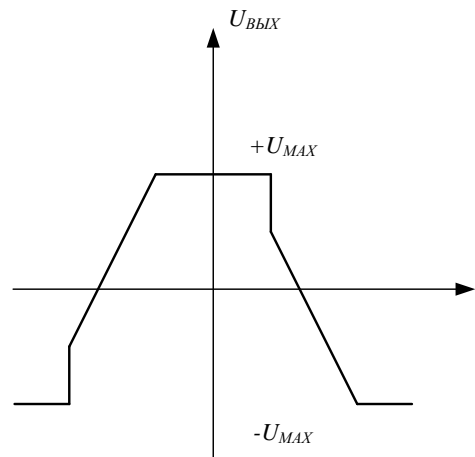


Рисунок 2.24 - Реакция ПИ-регулятора на двуполярное входное воздействие

В описанной подсистеме регулятора скорости на рисунке 2.23 следует ввести следующие индивидуальные параметры:

–блок 2- величину пропорциональной составляющей регулятора K_{PC} (коэффициент усиления регулятора скорости);

–блок 8 - величину интегральной составляющей (K_{PC}/T_{PC}). Здесь T_{PC} – постоянная времени регулятора скорости.

Остальные блоки и их параметры оставить без изменения.

2.3.5.4 Подсистема контура тока

Следующим элементом подсистемы РЭП является контур тока, модель которого представлена на рисунке 2.25.

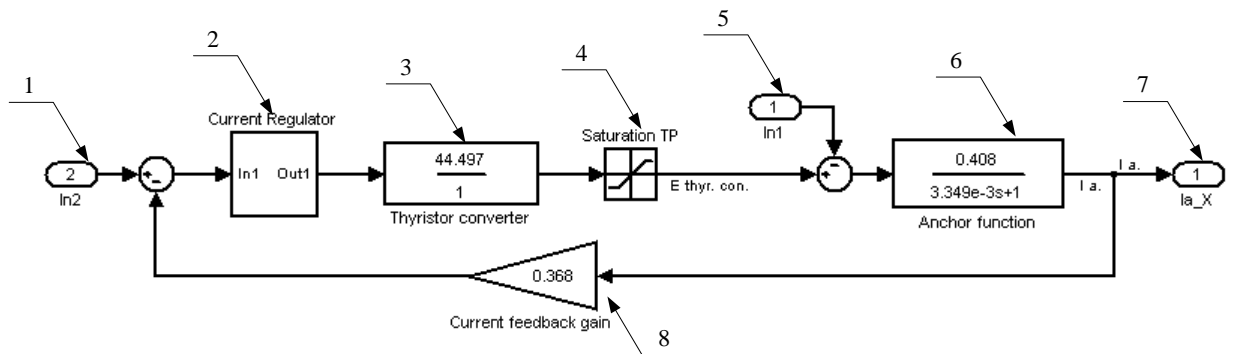


Рисунок 2.25 - Модель контура тока

Ее основными элементами являются:

1. блок входного сигнала;
2. блок ПИ-регулятора тока;
3. коэффициент передачи тиристорного преобразователя;
4. блок ограничения сигнала выходного напряжения тиристорного преобразователя;
5. входной сигнал положительной обратной связи по ЭДС двигателя;
6. передаточная функция якорной цепи двигателя;
7. блок выходного сигнала (ток якоря двигателя);
8. коэффициент обратной связи по току.

В описанной подсистеме контура тока на рисунке 2.25 следует ввести следующие индивидуальные параметры:

–блок 3 -коэффициент передачи тиристорного преобразователя $K_{ТТ}$;
–блок 4- ограничения сигнала выходного напряжения тиристорного преобразователя по величине равное E_{d0} ЭДС (средние значение) преобразователя при угле управления $\alpha = 0^\circ$;

–блок 6 - передаточная функция якорной цепи двигателя $\frac{1/R_{яц}}{T_{яц}p+1}$. Здесь следует указать числитель и знаменатель функции (см. рисунок 2.26). В числителе указать величину $1/R_{яц}$, в примере она равна [0,408]. В знаменателе указать выражение $T_{яц}p+1$, в примере оно задается в следующем виде [3,349e-3 1];

–блок 8 - коэффициент обратной связи по току K_T ,.

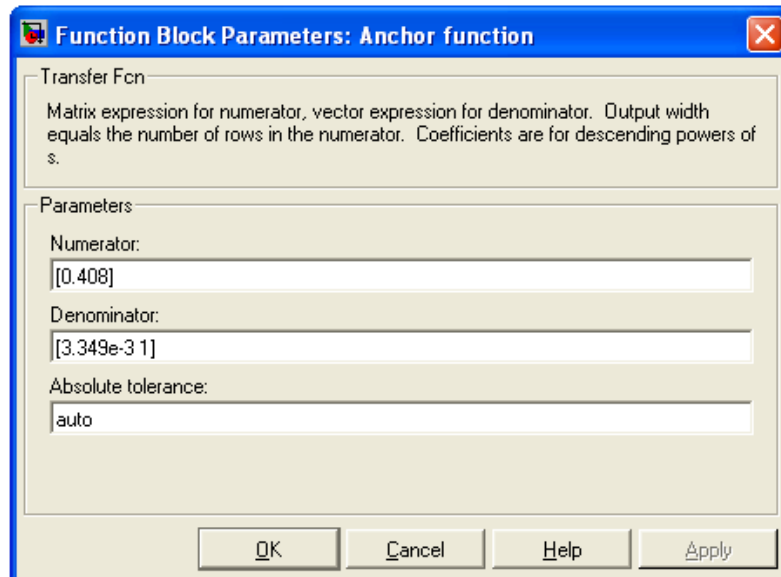


Рисунок 2.26 - Окно ввода параметров передаточной функции якорной цепи двигателя

Подсистема ПИ-регулятора тока (блок 2 на рисунке 2.25) аналогична той, что показана на рисунке 2.23 для регулятора скорости, поэтому в описании рассмотрим лишь те блоки, которые следует изменить под индивидуальные параметры. В данном случае выделены два блока на рисунке 2.27:

1. коэффициент пропорциональной составляющей регулятора тока;
2. коэффициент интегральной составляющей регулятора тока.

В описанной подсистеме регулятора тока на рисунке 2.27 следует ввести следующие индивидуальные параметры:

–блок 1 - величину пропорциональной составляющей регулятора тока K_{PT} (коэффициент усиления регулятора тока);

–блок 2 - величину интегральной составляющей (K_{PT}/T_{PT}). Здесь T_{PT} – постоянная времени регулятора тока.

Остальные блоки и их параметры оставить без изменения.

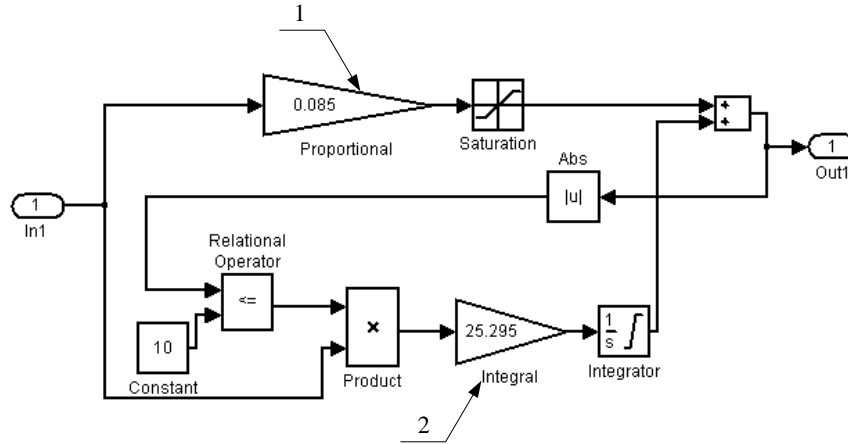


Рисунок 2.27 - Подсистема регулятора тока

2.3.5.5 Механическая подсистема

Модель механической подсистемы показана на рисунке 6.17, которая в общем случае представлена двухмассовой моделью. Для упрощения исследований двухмассовую модель приведем к одномассовой с помощью переключателя 6 на рисунке 6.17.

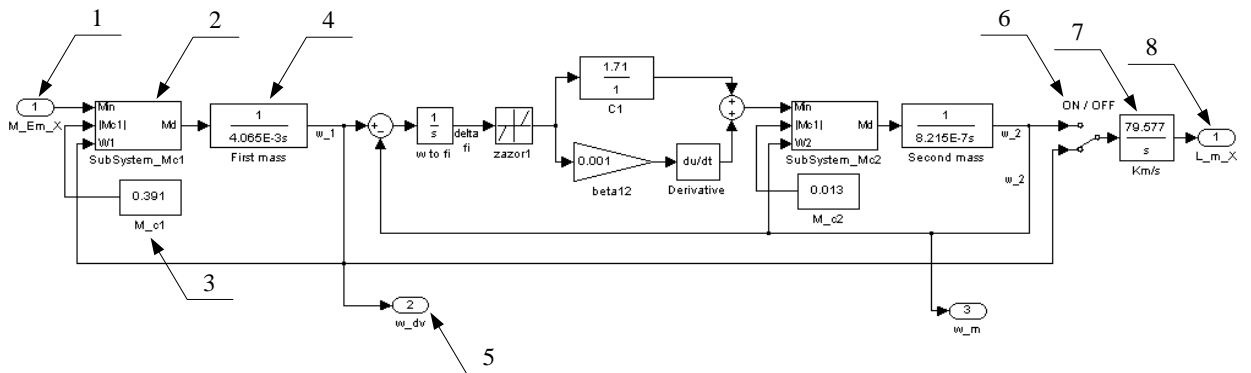


Рисунок 2.28- Механическая подсистема

На рисунке 2.28 приняты следующие обозначения:

1. входной сигнал (электромагнитный момент двигателя);
2. подсистема, учитывающая релейную характеристику реактивного момента сопротивления на валу первой массы;
3. момент сопротивления на валу первой массы;
4. звено, учитывающее момент инерции первой массы;
5. выход механической подсистемы в виде скорости двигателя;
6. переключатель, переводящий двухмассовую механическую систему (ДМС) «состояние ON» к одномассовой «состояние OFF» и обратно;
7. звено, учитывающее коэффициент передачи механизма с интегратором, на выходе которого имеем перемещение механизма вдоль регулируемой оси;
8. выход механической подсистемы в виде перемещение механизма вдоль оси, мкм.

В механической подсистеме на рисунке 2.28 следует ввести следующие индивидуальные параметры:

–блок 3 - момент сопротивления на валу инерционной массы J_{Σ} - суммарный (эквивалентный) момент инерции электропривода;

–блок 4 - данный блок описывается передаточной функцией вида $\frac{1}{J_{\Sigma}s}$, s –

оператор Лапласа. Диалоговое окно ввода параметров блока показано на рисунке 2.29. Приведенное значение J_{Σ} следует заменить на расчетное;

–блок 7 – интегрирующее звено с коэффициентом передачи механизма k_M . Здесь вместо приведенного в примере значения 79,577 необходимо указать полученное при расчетах значение k_M . Диалоговое окно ввода параметров блока 7 показано на рисунке 2.30. Остальные параметры блока оставить прежними.

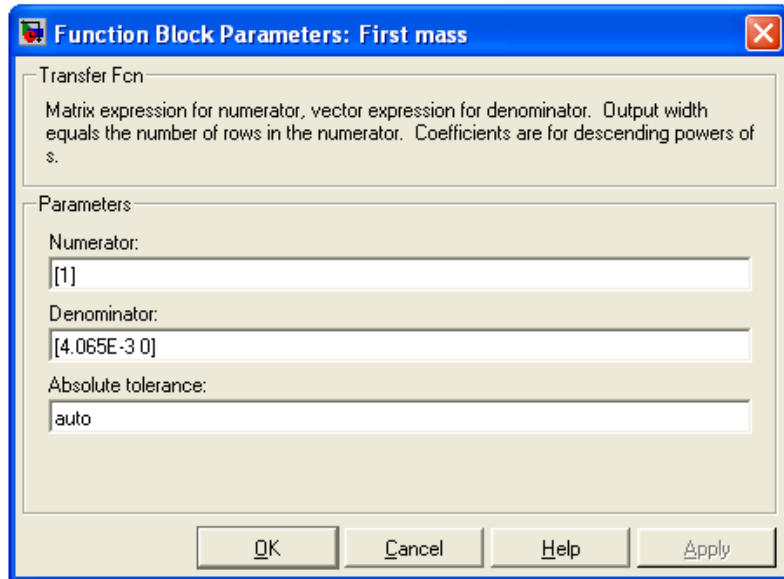


Рисунок 2.29- Окно ввода момента инерции

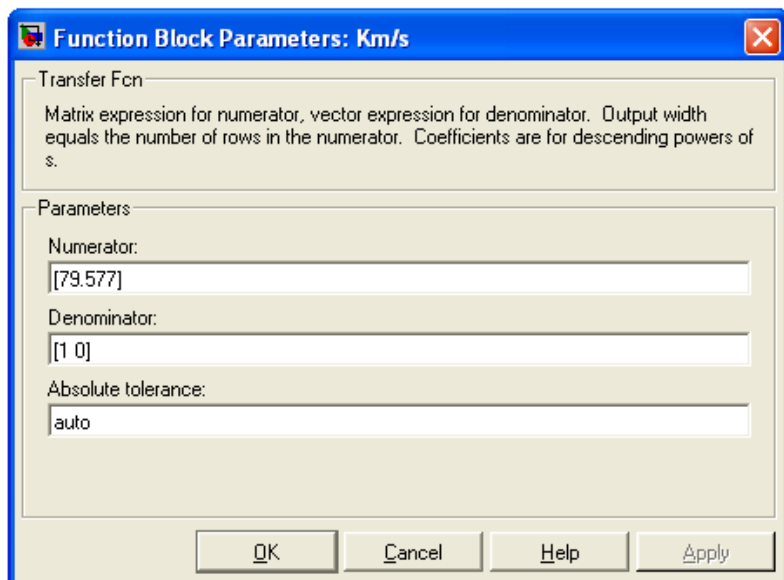


Рисунок 2.30 - Окно ввода коэффициента передачи механизма

2.3.5.6 Построение графиков

Для отображения графиков заданной и отработанной траекторий движения, после выполнения симуляции, необходимо не закрывая модели перейти к главному интерфейсному окну среды MatLab, показанному на рисунке 2.31.

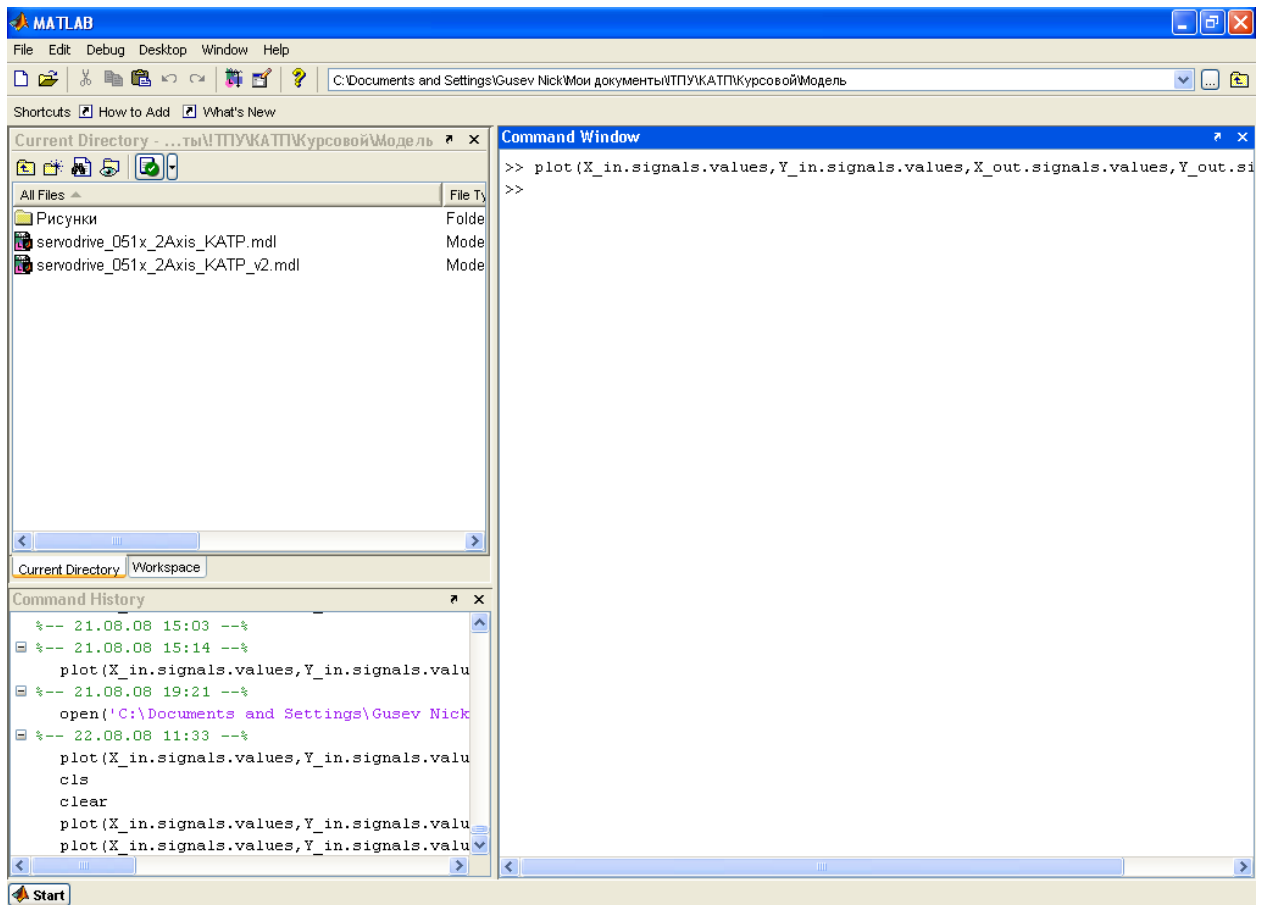


Рисунок 2.31 - Интерфейсные окна среды MatLab

Далее, для построения графика заданной и отработанной траектории в окне «Command Window» (рисунок 2.31) следует ввести строку:

plot(X_in.signals.values,Y_in.signals.values,X_out.signals.values,Y_out.signals.values)

После ввода строки и нажатия кнопки «Enter» на экране должно появиться интерфейсное окно, как показано на рисунок 2.32.

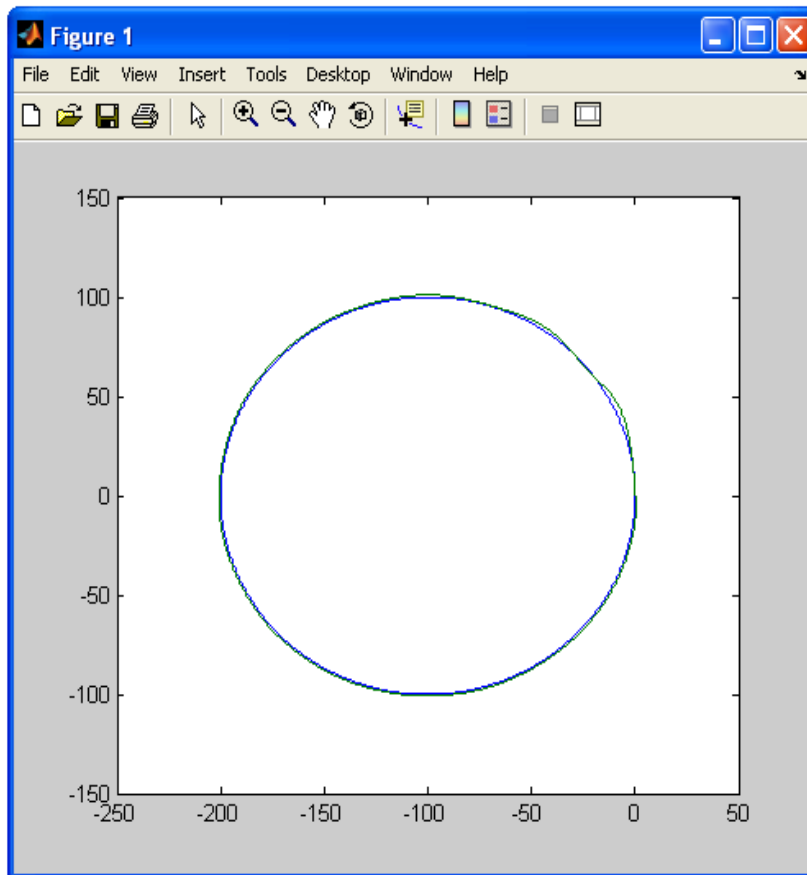


Рисунок 2.32 - Интерфейсное окно отображения заданной и отработанной траекторий движения по осям X, Y

Для нахождения ошибок отработки траектории движения удобно воспользоваться элементами «Zoom In» и «Zoom Out», расположенными вверху окна.

2.3.5.7 Оценка адекватности модели двухкоординатного СЭП

Для оценки адекватности разработанной модели двухкоординатного СЭП необходимо выполнить без нагрузки электропривода отработку по каждой оси X и Y ступенчатого входного воздействия. Величину воздействия необходимо выбрать такой, при которой не происходит насыщение регуляторов скорости и тока, и сравнить с показателями переходных процессов в линейной системе на рисунке 2.11. В качестве примера на рисун-

ке 2.33 представлены графики положения $L(t)$, тока $I(t)$ и скорости $\omega(t)$ при ступенчатом воздействии величиной $L_{зад} = 10 \text{ мкм}$ без учета нагрузки.

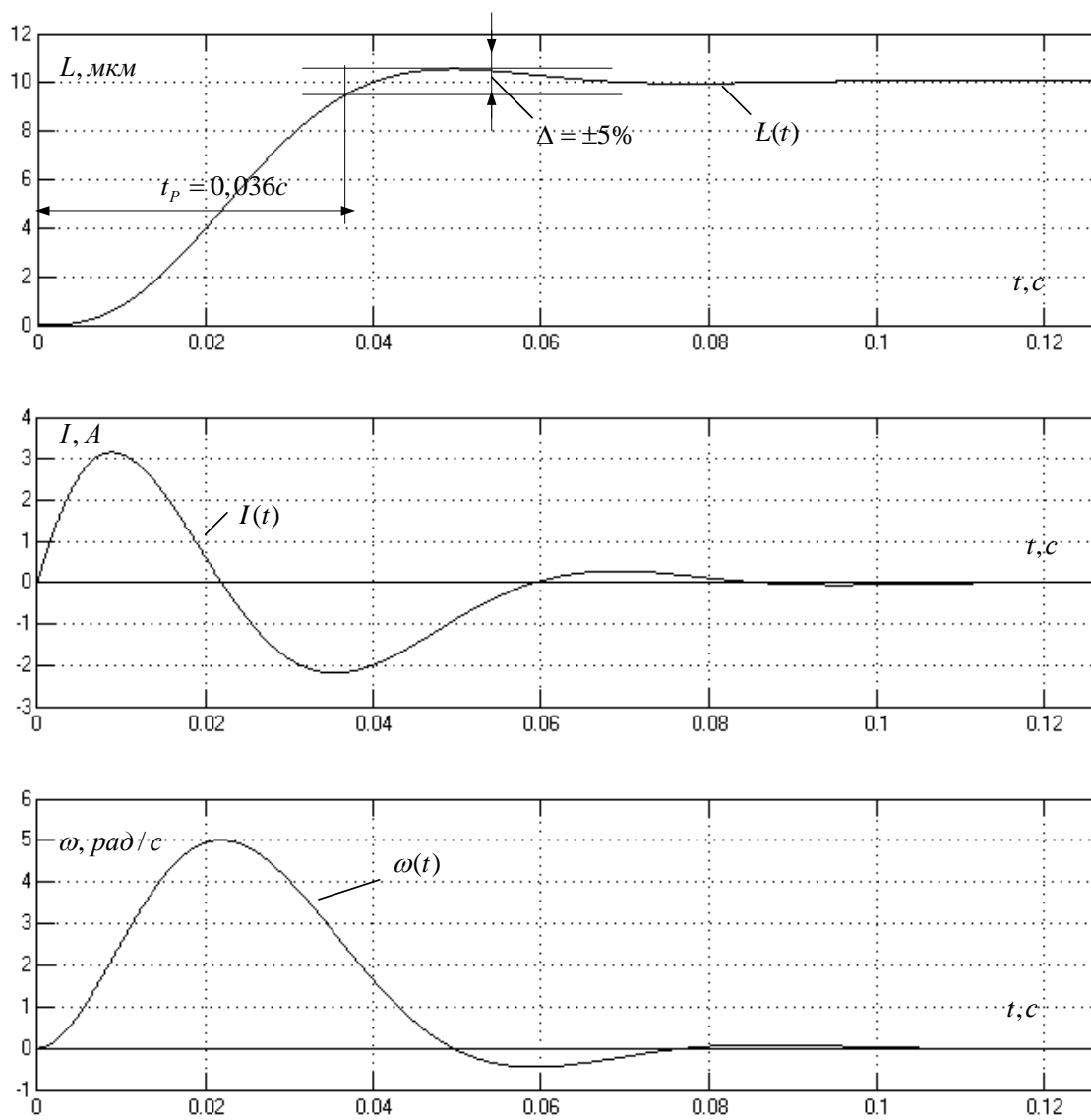


Рисунок 2.33 - Графики положения $L(t)$, тока $I(t)$ и скорости $\omega(t)$ при ступенчатом воздействии величиной $L_{зад} = 10 \text{ мкм}$ без учета нагрузки

ВЫВОД: Сравнение графики рисунков 2.33 и 2.11 показывает, что основные показатели качества регулирования – время и величина перерегулирования практически совпадают, что говорит об адекватности разработанной модели двухкоординатного СЭП.

2.3.5.8 Исследование работы двухкоординатного СЭП при круговой интерполяции

2.3.5.8.1 Оценка расчетной допустимой контурной скорости при заданном радиусе круговой траектории

Точность обработки САУ СЭП заданной траектории движения на плоскости является основным показателем качества работы всей системы. Основным критерием точности работы системы является контурная ошибка Δ_k – величина отклонения по нормали между заданной и отработанной траекторией движения в заданной точке. Контурная ошибка при воспроизведении линейной траектории при идентичных электроприводах, когда добротности электроприводов одинаковы, равна нулю [27]. Однако при обработке окружности равенство добротностей не сводит контурную ошибку к нулю. Величина контурной ошибки в этом случае зависит как от параметров самих СЭП (величина добротности и полоса пропускания частот СЭП), так и от параметров входного воздействия (радиус окружности, величина контурной скорости, эффекты квантования сигналов управления и обратных связей по времени и уровню).

Проведем исследование влияния на величину контурной ошибки только двух параметров управляющего воздействия – эффекта квантования сигнала управления СЭП по времени и величины контурной скорости.

Окружность при круговой интерполяции задается следующими параметрическими уравнениями

$$x_{зад}(t) = R_0 \cdot \sin \omega_k t; y_{зад}(t) = R_0 \cdot \cos \omega_k t,$$

где ω_k - угловая скорость обработки окружности, радиусом R_0 .

Упрощенное выражение для определения контурной ошибки Δ_k при обработке окружности можно определить по выражению [6]

$$\Delta_k = R_0 \cdot \left[1 - \sqrt{1 + \left(\frac{V_k}{R_0 \cdot K_V} \right)^2} \right], \quad (6.1)$$

где $V_k = \omega_k \cdot R_0$ - контурная скорость круговой траектории (мкм/с);

$$K_V = K_{Vx} = K_{Vy} = K_\omega \cdot \frac{\omega_p}{C_*} = 0,286 \cdot \frac{125}{0,74} = 48,3$$

- добротность следящих электроприводов по скорости координат X и Y;

$K_\omega = 0,286, C_* = 0,74, \omega_p = 125 \frac{рад}{с}$ – параметры настройки САУ СЭП, определяемые из таблицы 2.8.

Из выражения (6.1) следует, что контурная ошибка возрастает с увеличением контурной скорости и уменьшается с увеличением радиуса окружности и добротности СЭП.

Из (6.1) получаем выражение для нахождения допустимой контурной скорости $V_{к.дон}$ при величине заданной контурной ошибки $\Delta_{к.зад} = 5$ мкм и радиуса окружности $R_0 = 5000$ мкм

$$V_{к.дон} = R_0 \cdot K_V \sqrt{\left(1 - \frac{\Delta_K}{R_0}\right)^2 - 1} = 5000 \cdot 48,3 \sqrt{\left(1 - \frac{5}{5000}\right)^2 - 1} = 10797 \text{ мкм/с.}$$

Допустимая круговая скорость равна

$$\omega_{к.дон} = \frac{V_{к.дон}}{R_0} = \frac{10797}{5000} = 2,159 \text{ рад/с.}$$

Вводим параметры блока задания в нелинейной модели двухкоординатного СЭП: радиус окружности R_0 , заданный в соответствии с вариантом задания и значение допустимой круговой скорости $\omega_{к.дон}$.

На рисунке 2.34 показаны рассчитанные на модели при непрерывном входном воздействии круговые траектории – заданная $L_{зад}$ и $L_{СЭП}$, отработанная двукоординатным СЭП при расчётной допустимой скорости движения по контуру $\omega_{к.дон} = 2,159 \text{ рад/с}$.

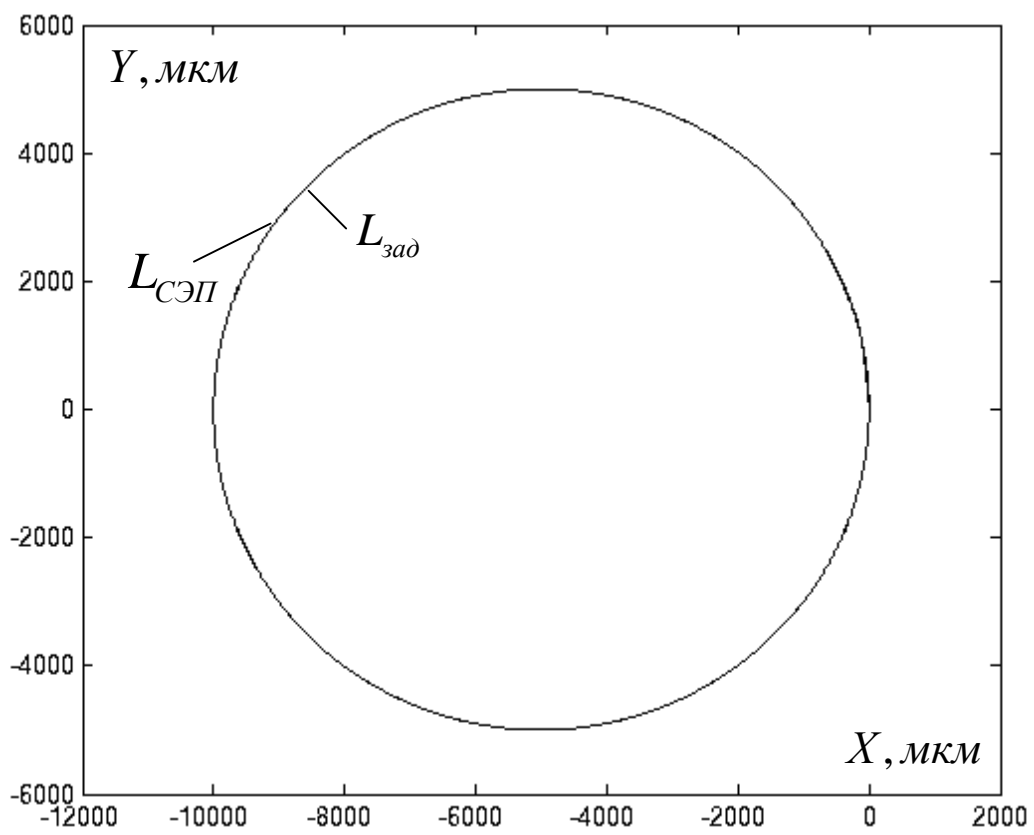


Рисунок 2.34 - График отработки круговой траектории с допустимой скоростью $\omega_{к.зад} = 2,159$ рад/с

На рисунке 2.35 показан график траекторий рисунка 2.34 в увеличенном масштабе для определения контурной ошибки Δ_K .

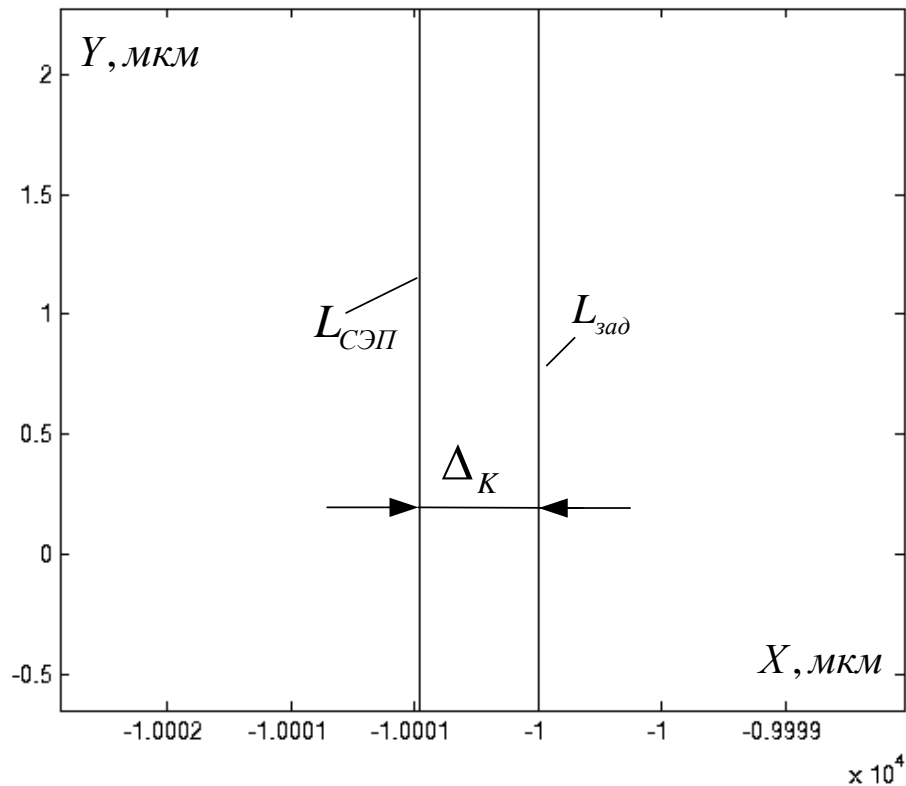


Рисунок 2.35 – Увеличенный масштаб графика отработки круговой траектории с допустимой круговой скоростью $\omega_{к.зад} = 2,159$ рад/с

ВЫВОД: Из рисунка 2.35 видно, что контурная ошибка $\Delta_K \approx 1 \leq \Delta_{K.зад} = 5$ мкм. Следовательно, работа с допустимой скоростью $\omega_{к.зад} = 2,159$ рад/с, обеспечивает ошибку меньше заданной, что удовлетворяет требованиям технического задания.

2.3.5.8.2 Исследование влияния частоты квантования сигнала управления в контуре положения на контурную ошибку

Проведём исследование влияния на величину контурной ошибки изменения частоты квантования $f_{кв}$ сигнала управления в контуре положения при отработке круговой траектории. Радиус окружности примем равным $R_0 = 5000$ мкм, заданную угловую скорость примем равной

$$\omega_{к.зад} = 2,159 \text{ рад/с.}$$

Частота квантования в контуре положения выставляется в блоке Pulse Generator (рисунок 2.15) путем указывания периода частоты квантования

$$T_{кв} = \frac{1}{f_{кв}} \text{ с.}$$

На рисунках 2.36 – 2.38 приведены результаты исследования на модели двухкоординатного СЭП при круговой интерполяции с учетом эффекта квантования сигнала управления по времени при $f_{кв} = 100$ Гц.

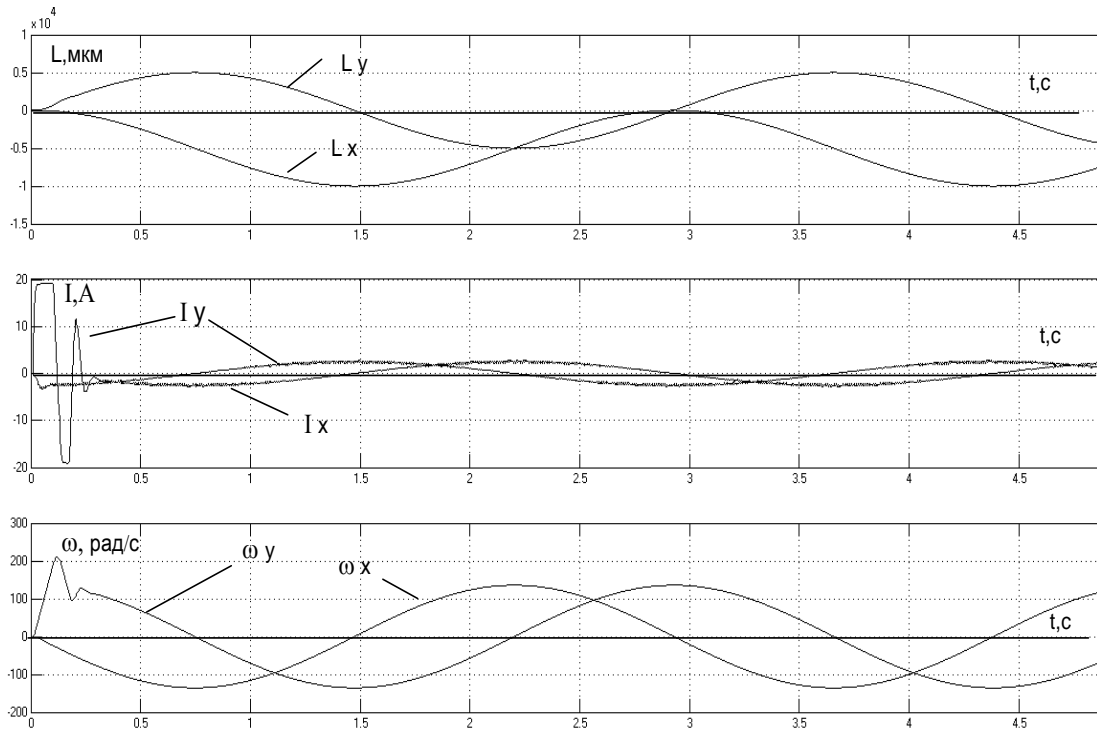


Рисунок 2.36 - Переходный процесс по осям X и Y токов $I_x(t)$, $I_y(t)$, скоростей $\omega_x(t)$, $\omega_y(t)$ и путей $L_x(t)$, $L_y(t)$ при $f_{кв} = 100$ Гц

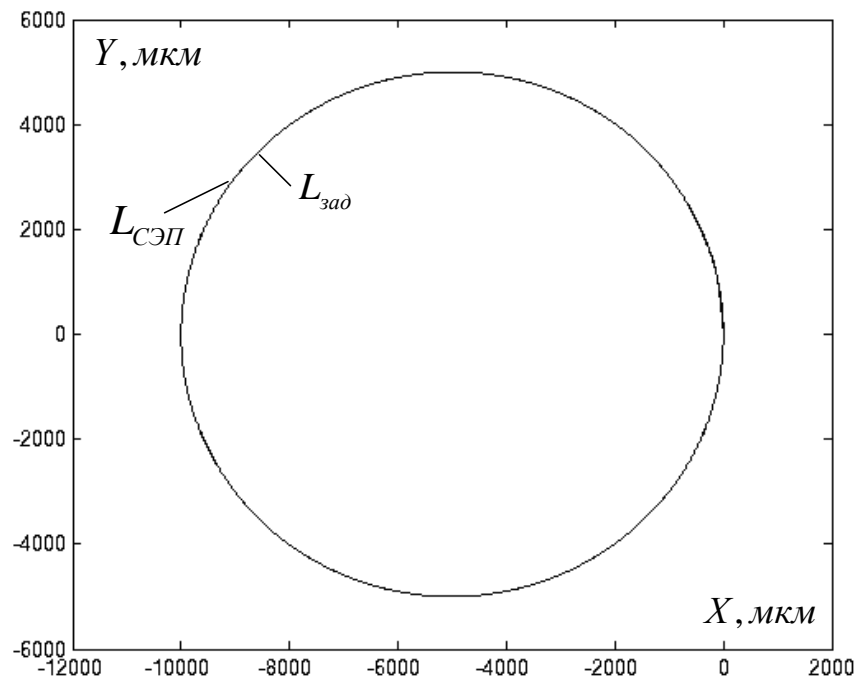


Рисунок 2.37 - Траектория движения СЭП при круговой интерполяции с допустимой круговой скоростью $\omega_{к.зад} = 2,159$ рад/с;

$L_{зад}$ – заданная и $L_{СЭП}$ – действительная траектории при $f_{кв} = 100$ Гц

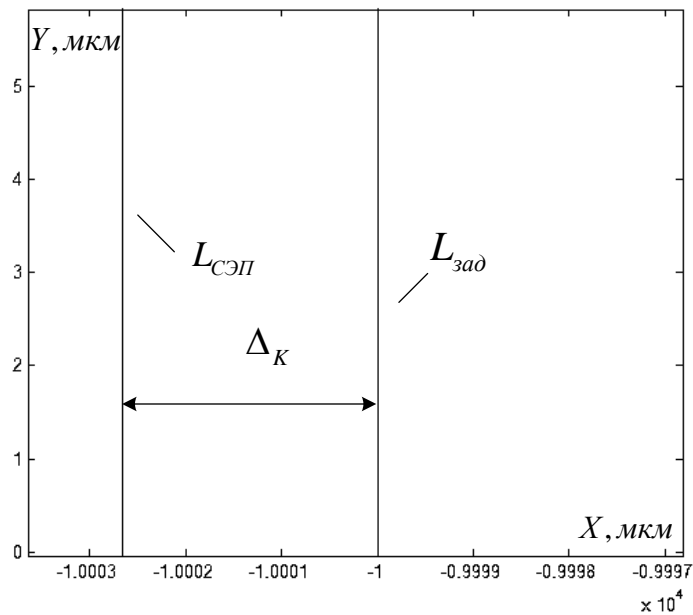


Рисунок 2.38 - Увеличенный масштаб графика отработки круговой траектории при $f = 100$ Гц, контурная ошибка $\Delta_k = 2,6$ мкм

Результаты исследования сведём в таблицу 2.11.

Таблица 2.11

$f_{кв}$, Гц	100	125	150	175	200
Δ_K , МКМ	2,6	2	1,9	1,6	1,2

По данным таблицы 2.11 строим зависимость контурной ошибки от частоты квантования $\Delta_K(f_{кв})$ (рисунок 2.39).

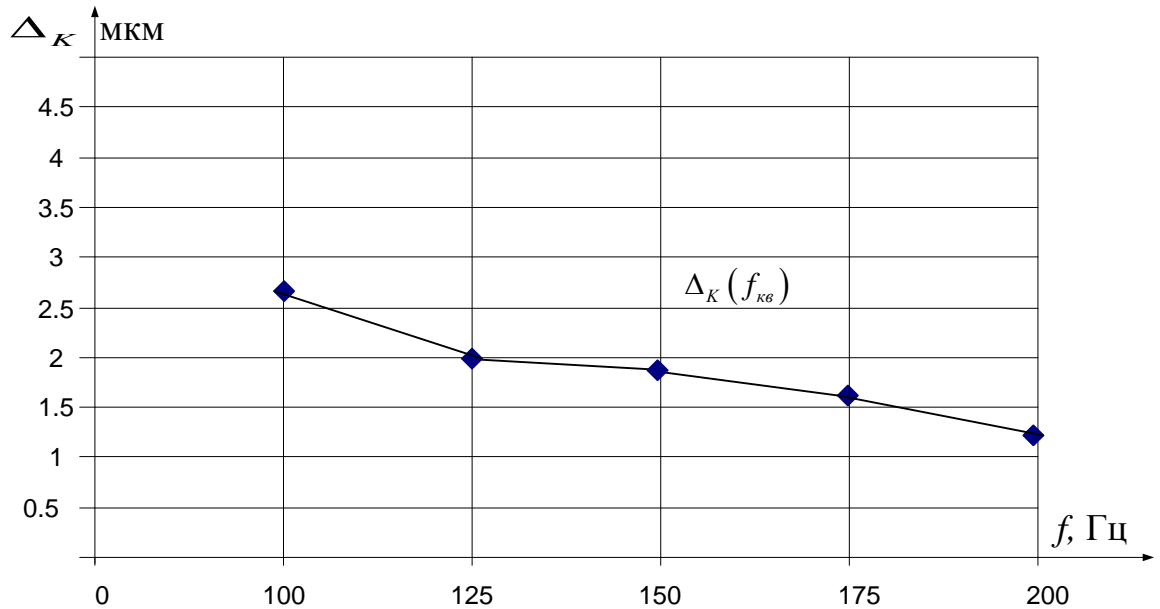


Рисунок 2.39 - Зависимость контурной ошибки от частоты квантования $\Delta_K(f_{кв})$

ВЫВОД: Из графика $\Delta_K(f_{кв})$ рисунка 2.39 видно, что при увеличении частоты квантования по времени сигнала управления двухкоординатного СЭП от 100 Гц до 200 Гц величина контурной ошибки Δ_K уменьшается примерно 2,2 раза.

2.3.5.8.3 Исследование влияния величины контурной скорости на величину контурной ошибки

Проведем исследование влияния величины контурной скорости на величину контурной ошибки Δ_K при $f_{кв} = 100$ Гц. При фиксированной величине радиуса круговой траектории $R_0 = 5000$ мкм величина контурной скорости V_K пропорциональна круговой частоте ω_K , значения которой вводятся в блоки задания.

Результаты исследования сведём в таблицу 2.12.

Таблица 2.12

ω_K , рад/с	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Δ_K , мкм	0,2	1,1	1,5	2,5	3,5	5

По данным таблицы 2.12 строим график $\Delta_K(\omega_K)$ зависимости контурной ошибки от величины круговой скорости при $f_{кв} = 100$ Гц.

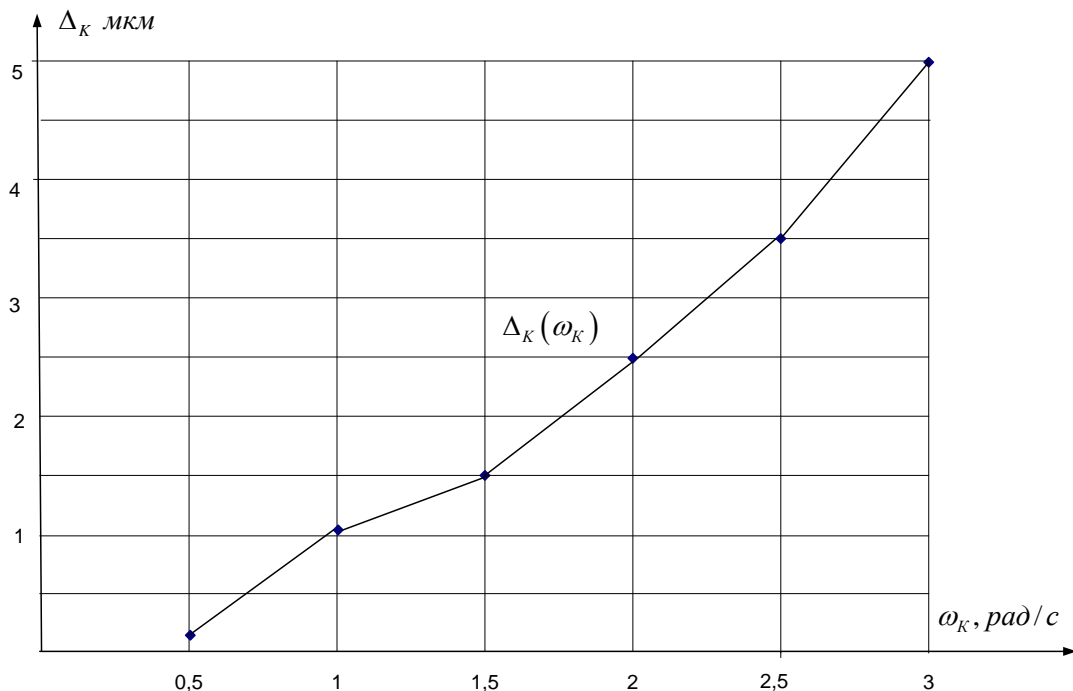


Рисунок 2.40 - Зависимость $\Delta_K(\omega_K)$ контурной ошибки от круговой скорости при $f_{кв} = 100$ Гц

ВЫВОД: Из графика 2.40 зависимости $\Delta_K(\omega_K)$ видно, что величина контурной ошибки увеличивается пропорционально увеличению круговой (контурной) скорости.

2.3.6 Выбор и обоснование элементов автоматизации двухкоординатной САУ СЭП

2.3.6.1 Выбор и обоснование датчиков положения (энкодеры)

Выбор фотоимпульсных датчиков положения (энкодер) проводят по числу импульсов необходимых на один оборот вала энкодера, исходя из требуемой точности измерения положения координаты при позиционировании или из условия обеспечения заданной величины контурной ошибки.

Число импульсов $n_{э.см}$ на один оборот вала энкодера, устанавливаемого на валу двигателя при заданной величине контурной ошибки $\Delta_K = \sqrt{\Delta_X^2 + \Delta_Y^2}$ и равенстве координатных ошибок по осям X и Y $\Delta_X = \Delta_Y$ составит

$$n_{э.см} \geq \frac{t_B \cdot 10^3}{\Delta_X \cdot i_{ред}},$$

где $\Delta_X = \frac{\Delta_K}{\sqrt{2}}$ координатная ошибка.

Выбираем Энкодер Е6В2-С Omron [9] (рисунок 2.41) с большим числом импульсов, имеющий параметры, приведенные в таблице 2.13



Рисунок 2.41

Таблица 2.13

	Миниатюрный инкрементальный датчик вращения, общего применения
Габариты	Диаметр - 40 мм
Разрешение	10 - 2000 имп/об
Выходной сигнал	фазы А, В и Z (реверсивный)
Форма выхода (выбором модели)	NPN/PNP открытый коллектор, 35 мА NPN, выход по напряжению линейный формирователь
Напряжение питания (выбором модели)	5-12 VDC 5-24 VDC 5 VDC
Максимальная частота вращения	6000 об/мин
Максимальная частота импульсов	100 кГц
Потребляемый ток (макс.)	70-130 мА
Способ подключения	встроенный провод
Условия эксплуатации	от -10 С до +70°С, от 35% до 85%
Класс защиты	IP50
Допустимая нагрузка оси	радиальная, 20N осевая

2.3.6.2 Выбор контроллера движения

Главным критерием выбора контроллера движения для СЭП является наличие круговой интерполяции, двухосевое управление и ЦАП.

Выбираем четырехканальную плату управления сервоприводами компании Advantech - PCI-1241 [10] (рисунок 2.42), имеющую следующие параметры:

- Независимые четыре канала управления
- 3-канальная линейная интерполяция
- 2-канальная круговая интерполяция
- Спиральная интерполяция
- Размеры 174 x 107 мм
- Масса 0,17 кг
- 4 аналоговых выхода, 16-разрядное разрешение
- 5 каналов для подключения энкодеров
- 13 специализированных дискретных входов
- 5 специализированных дискретных выходов



Рисунок 2.42 - Плата управления сервоприводами компании Advantech

Выбранный контроллер полностью удовлетворяет требованиям нашей системы.

2.3.6.3 Выбор контроллера автоматки

Выбираем программируемый модуль ввода-вывода UNIO96-5 компании Fastwel (рисунок 2.43) [11]. Модуль UNIO-96-5 предназначен для ввода-вывода 96 сигналов логического уровня (5В, ТТЛ). В модулях используются программируемые логические микросхемы (FPGA) и технология In-System Programmable (ISP), что позволяет изменять алгоритм работы (схему) модулей непосредственно в системе без выключения питания. Файлы вариантов базовых и заказных схем с описаниями и примерами программирования на языке С поставляются вместе с модулем.



Рисунок 2.43 - модуль ввода-вывода UNIO96-5 компании Fastwel

Основные характеристики

- 96 каналов цифрового/частотного ввода-вывода в произвольной комбинации
- Совместимость с дискретными оптомодулями Opto-22 и Grayhill
- Обслуживание аналоговых оптомодулей Grayhill серии 73G и 73L без использования ресурсов системы и с возможностью формирования прерываний
- Измерение частоты до 50 МГц по любому каналу
- Таймеры/счетчики событий
- Генерация частоты и ШИМ-сигналов по любому каналу
- Преобразование кодов по любому каналу
- Управление алфавитно-цифровыми индикаторами
- Формирование временных диаграмм
- Формирование аппаратных прерываний по событиям на входах
- Программируемый интервал устранения дребезга для входов (антидребезг)
- Возможность программирования схемы модуля в системе (ISP)
- Напряжение питания $5\text{ В} \pm 5\%$
- Потребляемый ток, не более: 340 мА для UNIO96-5
- Диапазон рабочих температур от -40 до $+85^\circ\text{C}$
- Среднее время наработки на отказ — не менее 100 000 часов

2.3.6.4 Выбор силового блока тиристорного преобразователя

В качестве силового блока тиристорного преобразователя выбираем преобразователь ЭПУ1М производства ООО «Чебоксарский электроаппаратный завод» [33].

Электроприводы подачи (ЭПУ1М-2...П) (рисунок 2.44) - реверсивные, для высокомоментных двигателей серий ПБВ, 2ПБВ, 2ПКВ, ДПУ, ДР, обеспечивают перегрузку по моменту до 6 для электроприводов на 25, 50, 200 А и не более 4 для электроприводов на 100 А, имеют диапазон регулирования до 10000 и предназначены для реверсивных быстродействующих широкорегулируемых приводов с однозонным регулированием скорости, в том числе для механизмов подачи станков с ЧПУ, промышленных манипуляторов и других механизмов.



Рисунок 2.44 - Электроприводы подачи

Габаритные размеры силовых блоков ЭПУ1М-2...П приведены в таблице 2.14

Таблица 2.14

Тип преобразователя	Исполнение	Ток, А	Размеры, мм			Масса, кг
			Ширина	Высота	Длина	
ЭПУ1М-Х-34ХХ Х ХХ	П	25	163	290	245	7
ЭПУ1М-Х-37ХХ Х ХХ	П	50	242	268	300	12
ЭПУ1М-Х-39ХХ Х ХХ	П	80	242	480	370	13
ЭПУ1М-Х-40ХХ Х ХХ	П	100	242	327	300	14

2.3.6.5 Выбор силового трансформатора

Для согласования напряжения сети и высокомоментного двигателя выбираем трансформаторы силовые трехфазные сухие типа ТС, ТСТ (рисунок 2.45) [34].



Рисунок 2.45 - трансформатор силовой трехфазный

Габаритные размеры трансформаторов ТС, ТСТ приведены в таблице 2.15

Таблица 2.15

Мощность, кВа	Длина,мм	Высота,мм	Ширина,мм
1,6	415	330	270
2,5	435	425	260
6,3	435	500	270
16	510	490	320
25	510	490	380
40	620	500	470

2.3.6.6 Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели (АВ) обеспечивают одновременно функции коммутации силовых цепей и защиты от электроприемников от перегрузок и коротких замыканий. АВ имеют тепловой расцепитель и электромагнитный расцепитель.

АВ выбирают по их номинальному току. Уставки токов расцепителей определяются по следующим соотношениям:

Ток уставки теплового расцепителя:

$$I_T \geq 1,25 \cdot I_H .$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя:

$$I_{эм} \geq 1,2 \cdot I_{пуск},$$

где I_n - номинальный ток электроприемника;

$I_{пуск}$ - пусковой ток электродвигателя.

Выбираем автоматический выключатель компании IEK типа ВА47-100 [14] (рисунок 2.46).



Рисунок 2.46 - автоматический выключатель компании IEK

2.3.6.7 Выбор конечных выключателей

Концевые выключатели предназначены для применения в электрических цепях управления, сигнализации и контроля относительного положения подвижных частей механизма в пространстве.

Выберем 6 концевых выключателей серии **D4C** фирмы Omron: 2 - по оси X, 2 - по оси Y и 2 для отключения в положении «ноль» [36] (рисунок 2.47).



Рисунок 2.47 - концевых выключателей фирмы Omron

Для концевых выключателей серии D4C предлагается широкий выбор механизмов переключения. Все концевые выключатели данной серии пыле- и водонепроницаемы в соответствии со стандартом IEC IP67.

- Защищенный миниатюрный концевой выключатель в корпусе толщиной всего 16 мм;
- Металлический корпус с тройным уплотнением;
- Светодиодный индикатор упрощает контроль;
- Возможность блочного монтажа одновременно нескольких выключателей;
- Механический ресурс - 10 миллионов коммутаций (при частоте 30 переключений в минуту).

•

2.3.6.8 Выбор клемм для установки на DIN-рельс

Для установки на DIN-рельс выбираем клеммы фирмы WAGO с зажимом CAGE CLAMP. Они выпускаются для сечения проводников от $0,08 \text{ мм}^2$ до 16 мм^2 двух и четырехпроводными двух и трех уровневыми. Например клеммы для проводников сечением до $1,5 \text{ мм}^2$ имеют ширину 4 мм, работают при напряжении до 800В и токе до 18А (рисунок 2.48) [37].

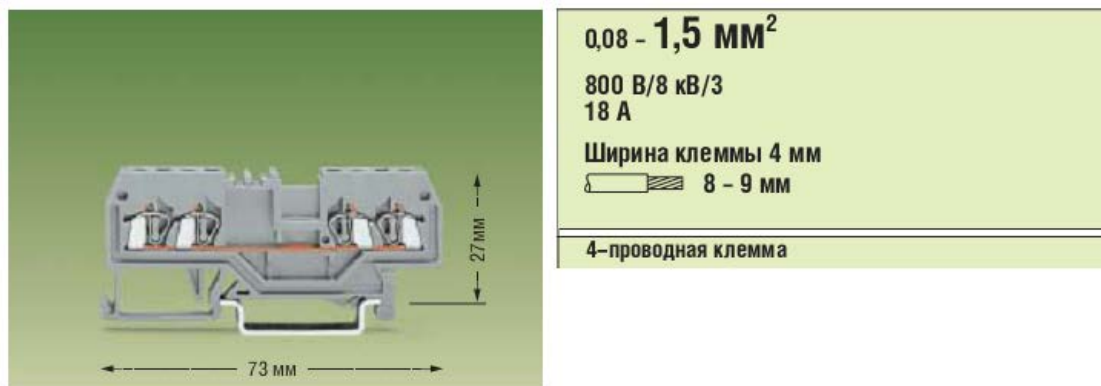


Рисунок 2.48 - клеммы фирмы WAGO

2.3.6.9 Выбор компоновки шкафа электроавтоматики

Для размещения силового оборудования выбираем шкаф фирмы Rittal [38] (рисунок 2.49). Габариты шкафа выбираем из представленной линейки

таким образом, чтобы в нем свободно размещалось все выбранное силовое оборудование.



Рисунок 2.49 - Компактные шкафы Rittal

На рисунке 2.50 показан пример компоновки шкафа электроавтоматики.

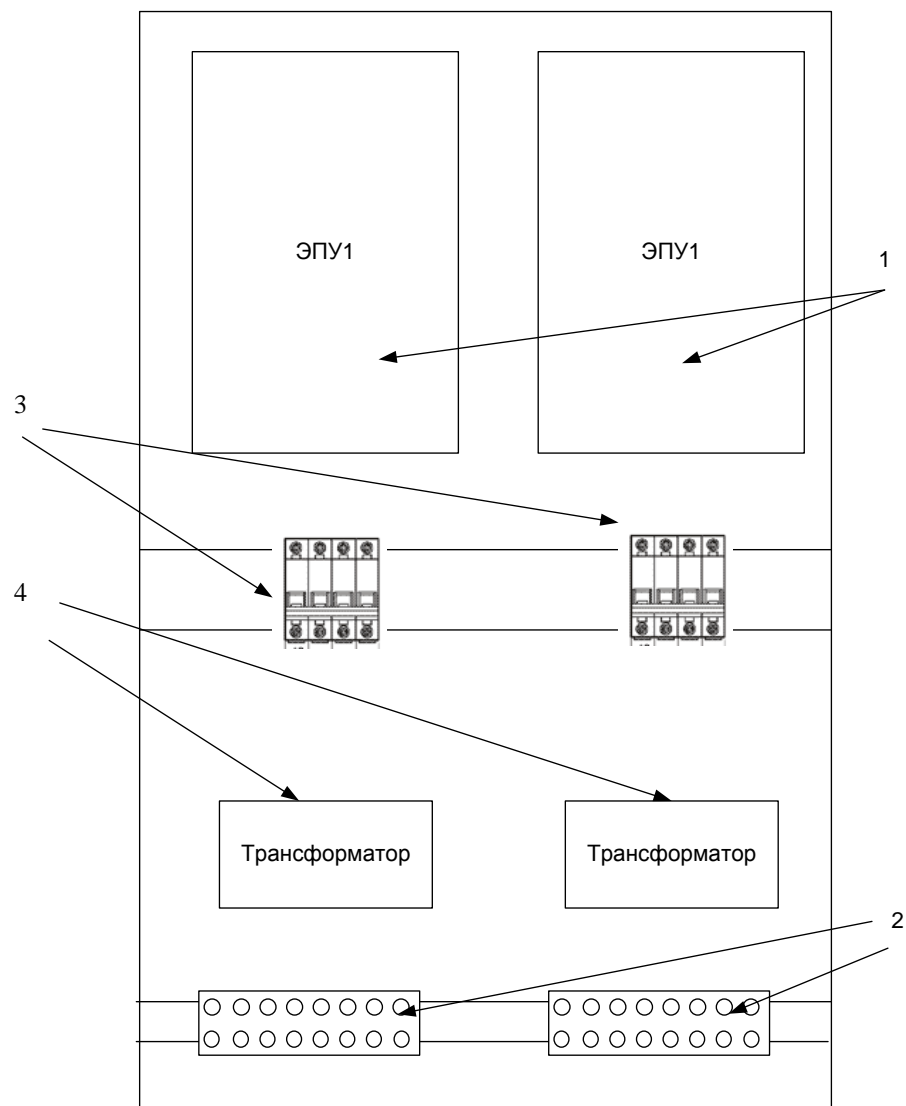


Рисунок 2.50 – Компоновка шкафа электроавтоматики:
 1 – Комплектный регулируемый электропривод ЭПУ1; 2 – клеммы;
 3 – автоматические выключатели; 4 - трансформаторы

РАЗДЕЛ 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА SIEMENS LOGO

3.1. Техническое задание на курсовой проект

Тема проекта: разработка системы управления технологическим процессом на базе контроллера Siemens Logo

Объем: 1. пояснительная записка (20-30) страниц текста формата А4;
2. графическая часть выносится в приложение пояснительной записки.

Содержание графической части:

- функциональная схема системы автоматизации технологического процесса;
- электрическая схема;
- имитационная модель либо программный код в среде Logo!Soft Comfort v6.0;
- основные характеристики и показатели качества работы системы.

Содержание пояснительной записки:

- Титульный лист
- Техническое задание
- Содержание
- Введение
- 14. Разработка и обоснование функциональной схемы системы автоматического управления технологическим процессом
- 15. Расчет мощности и выбор электродвигателей
- 16. Выбор преобразователей частоты
- 17. Выбор и обоснование датчиков применяемых для управления технологическим процессом
- 18. Выбор элементов электроавтоматики (пускателей, клемм, гермовводов, шин, кабелей, автоматических выключателей, кнопок)
- 19. Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики
- 20. Выбор и обоснование контроллера из линейки Siemens Logo.
- 21. Разработка алгоритма функционирования системы управления

22. Разработка и моделирование программного обеспечения в Logo!Soft Comfort v6.0

Заключение

Список литературы

Примечание: Нумерация разделов и подразделов ПЗ и их наименование может быть изменена студентом. Оформление и представление курсового проекта выполняется в соответствии с СТО ТПУ 2.5.01-2006.

Технические требования:

1. Разработанная функциональная схема автоматической системы управления технологическим процессом должна содержать графические обозначения всех применяемых элементов электроавтоматики.

2. Обоснованно произвести выбор контроллера автоматике и привести описание его основных характеристик. При необходимости введения дополнительных сигналов в систему управления выбрать требуемый модуль расширения контроллера.

3. Пояснительная записка должна содержать перечень входных/выходных сигналов с их функциональным описанием.

4. Выбор элементов электроавтоматики и датчиков должен сопровождаться необходимыми расчетами:

4.1. концевые выключатели задвижки дозатора;

4.2. коммутационное оборудование (пускатели, клеммы);

4.3. автоматические выключатели;

4.4. сечения силовых и информационных соединительных проводов;

4.5. шкаф;

4.6. указать компоновку элементов в шкафу, с учетом габаритов элементной базы.

5. Алгоритм функционирования системы управления должен содержать описательную часть и блок-схему, адекватно описывающую работу разрабатываемого программного обеспечения контроллера.

6. Программное обеспечение должно быть разработано в среде Logo!Soft Comfort v6.0 и содержать описание всей программы в целом, а также назначение отдельных блоков.

7. При наличии ветвлений в программе привести описание работы программного обеспечения в каждом режиме с подробным описанием особенностей его функционирования.

8. Частично либо вся программа должна быть запрограммирована в контроллер и продемонстрирована ее работа на испытательном стенде.

3.2. Задания на выполнение курсового проекта

Примеры заданий к выполнению курсового проекта

Задание 1: система управления технологическим процессом рецептурно-смесительного комплекса для приготовления шоколадных масс

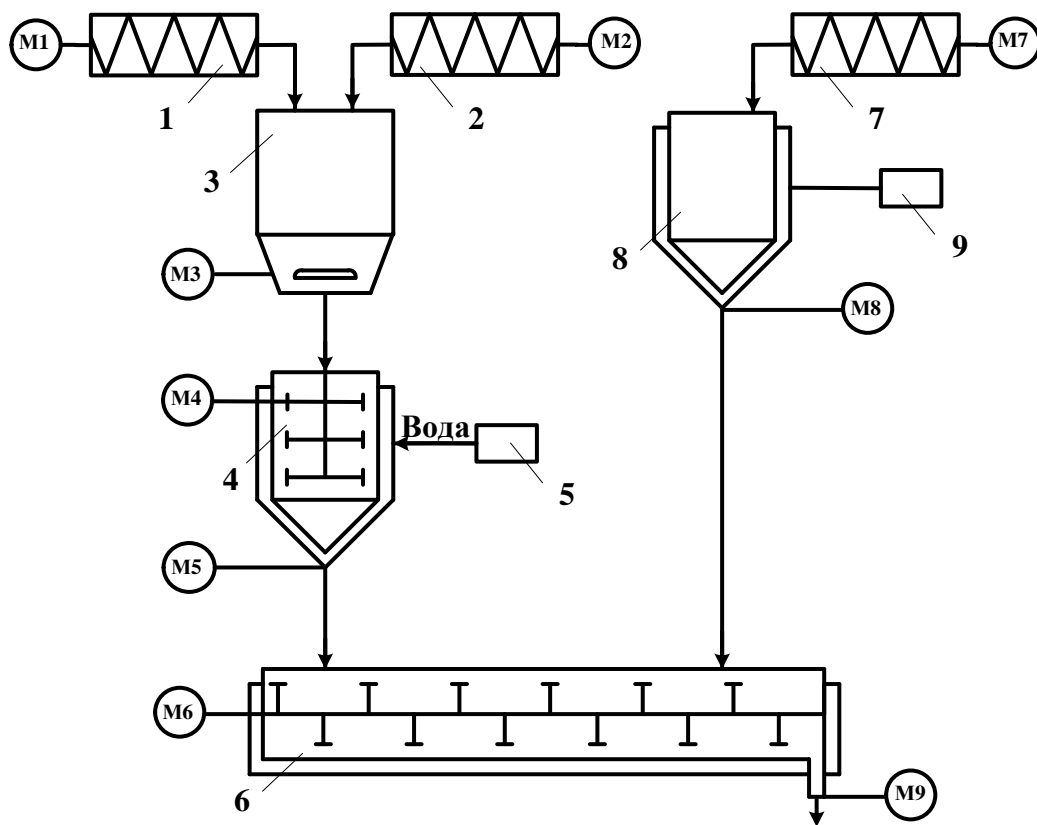


Рисунок 3.1 – Функциональная схема рецептурно-смесительного комплекса для приготовления шоколадных масс

В состав оборудования по производству шоколадных масс входят:

- 1- Шнековый питатель с тертым какао (ШП1);
- 2- Шнековый питатель с сахаром (ШП2);
- 3- Бункер - дозатор сухих смесей (БД);
- 4- Смеситель;
- 5- Насос подачи воды;

- 6- Смеситель готовой продукции (ГП);
- 7- Шнековый питатель с маслом какао (ШПЗ);
- 8- Бункер масла какао (БМ);
- 9- Нагрев.

Объект автоматизации включает в себя 9 асинхронных электродвигателей мощностью от 0.75 кВт до 7.5 кВт.

Смонтированные на пульте управления приборы и системы позволяют осуществлять программирование и автоматическое дозирование компонентов, пуск, остановку, контроль над работой оборудования и предохранять его от аварий и поломок.

Шоколадную массу готовят на сахаре-песке, который подается в бункер шнеком 2. В конусной части бункера–дозатора грузоподъемностью до 5000 килограмм сухих смесей установлена задвижка, закрывающая выход из соответствующего бункера в смеситель.

Размол взвешенного сахара-песка в пудру и смешивание его с тертым какао осуществляется в смесителе. Полученная масса подается в смеситель готовой продукции. В этом смесителе масло какао тщательно перемешивается с остальными компонентами шоколадной массы.

Обрабатываемая масса продвигается вдоль оси смесителя, проходя через три продольных канала, смешиваясь лопастями вала и неподвижными фасонными пластинами корпуса.

Во время всего процесса приготовления работает нагрев бункера с маслом какао.

Рабочие органы непрерывно самоочищаются, и по окончании работы в смесителе остается только минимальное количество массы.

Характеристики имеющегося оборудования

- Электродвигатели:

М1 – 5,5 кВт, М2 – 5,5 кВт, М3 – 0,75 кВт, М4 – 2,2 кВт, М5 – 1,1 кВт;
М6 – 7,5 кВт, М7 – 5, 5 кВт, М8 – 0,75 кВт, М9 – 2,2 кВт.

- Насос: для подачи воды в бункер-дозатор сухих смесей и нагрева бункера с маслом какао выбираем поверхностный центробежный насос VMtec Garten-Jet 1200.

Задание 2: система автоматического регулирования количества находящихся на парковке автомобилей

В технологическом процессе используются два шлагбаума, один из которых – въездной, другой – выездной, управление которыми будет осуществляться с помощью контроллера Siemens LOGO!. Принцип действия состоит в том, чтобы на парковку могли въехать то количество автомобилей, сколько там парковочных мест. Технологическая схема данного проекта представлена на рисунке 3.2.

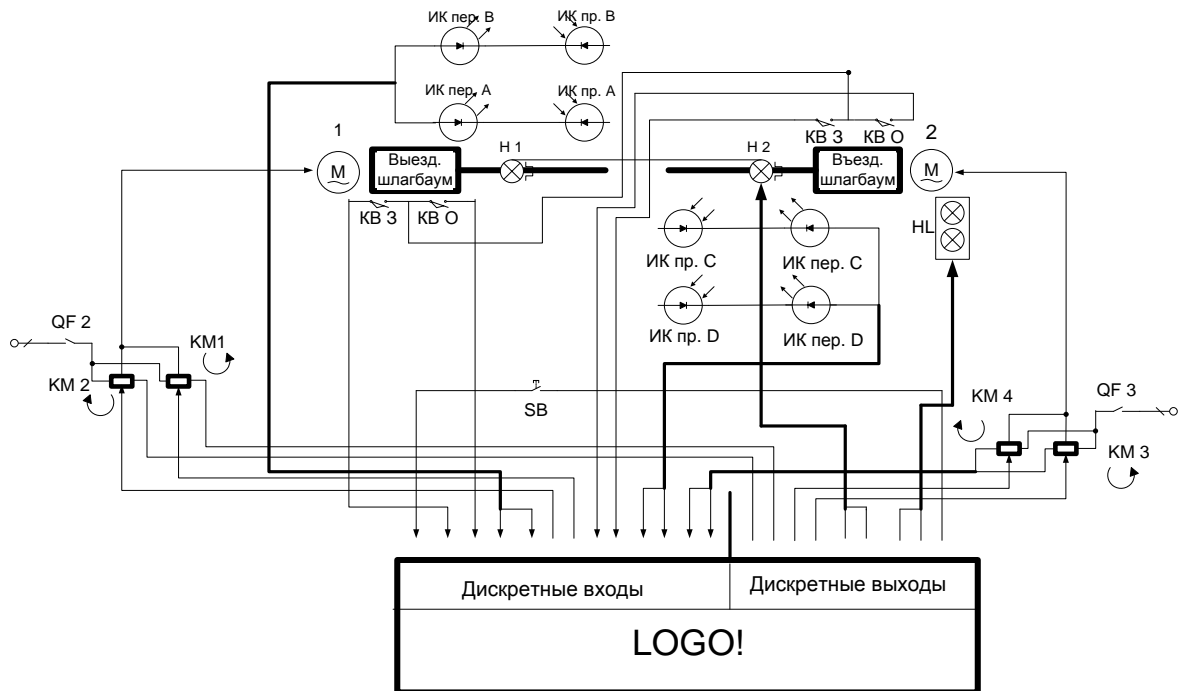


Рисунок 3.2. Функциональная схема технологического процесса парковки с ограниченным количеством парковочных мест

- М – электродвигатель
- КВ – концевой выключатель
- КМ – реле, контактор
- ИК пер. – инфракрасный передатчик
- ИК пр. – инфракрасный приемник
- QF – автоматический выключатель
- HL – светофор
- SB – выключатель кнопочный
- Н – сигнальное устройство

Систем управления обеспечивает следующие режимы работы:

1. Ожидание.
2. Подъезд автомобиля и открытие шлагбаума.
3. Въезд автотранспорта, система добавляет на счетчик единицу.
4. Выезд автомобиля, система отнимает единицу от счетчика количества машин.
5. Режим открывания при закрывании. Это происходит в то время когда после 10 секундного «простоя», шлагбаум начинает закрываться и подъезжает автомобиль, система останавливает двигатель и запускает его в обратную сторону.
6. Аварийный режим основан на слежении за реле управления двигателем по времени, за которое шлагбаум должен закрыться или открыться, если этого не происходит система отключает реле и останавливает работу одного из неисправных шлагбаумов. Оповещение происходит по средствам светофора, тем самым на нем загораются оба огня или же они оба погасают в зависимости от заполненности парковки.

Задание 3: система «Умный дом»

В системе автоматического управления системы «Умный дом» все процессы производятся автономно, не зависимо друг от друга, исключая датчик дыма, который при своем срабатывании отключает питание всей системы, т.е. электроэнергии в целом.

Функциональная схема системы управления изображена на рисунке 3.3, где представлены все происходящие процессы: управление автоматической гаражной дверью, осуществляющееся с помощью пульта управления; управление наружным освещением для ландшафтного освещения; поддержка «климат-контроля» в комнате с автоматическим включением вентилятора, либо электроконвектора; управление комнатным освещением при обнаружении движения с учетом естественного освещения комнаты; предотвращение затопления комнаты при помощи датчика протечки и управляющих клапанов, как для холодной, так и для горячей воды; система пожаробезопасности в доме, используя датчик дыма.

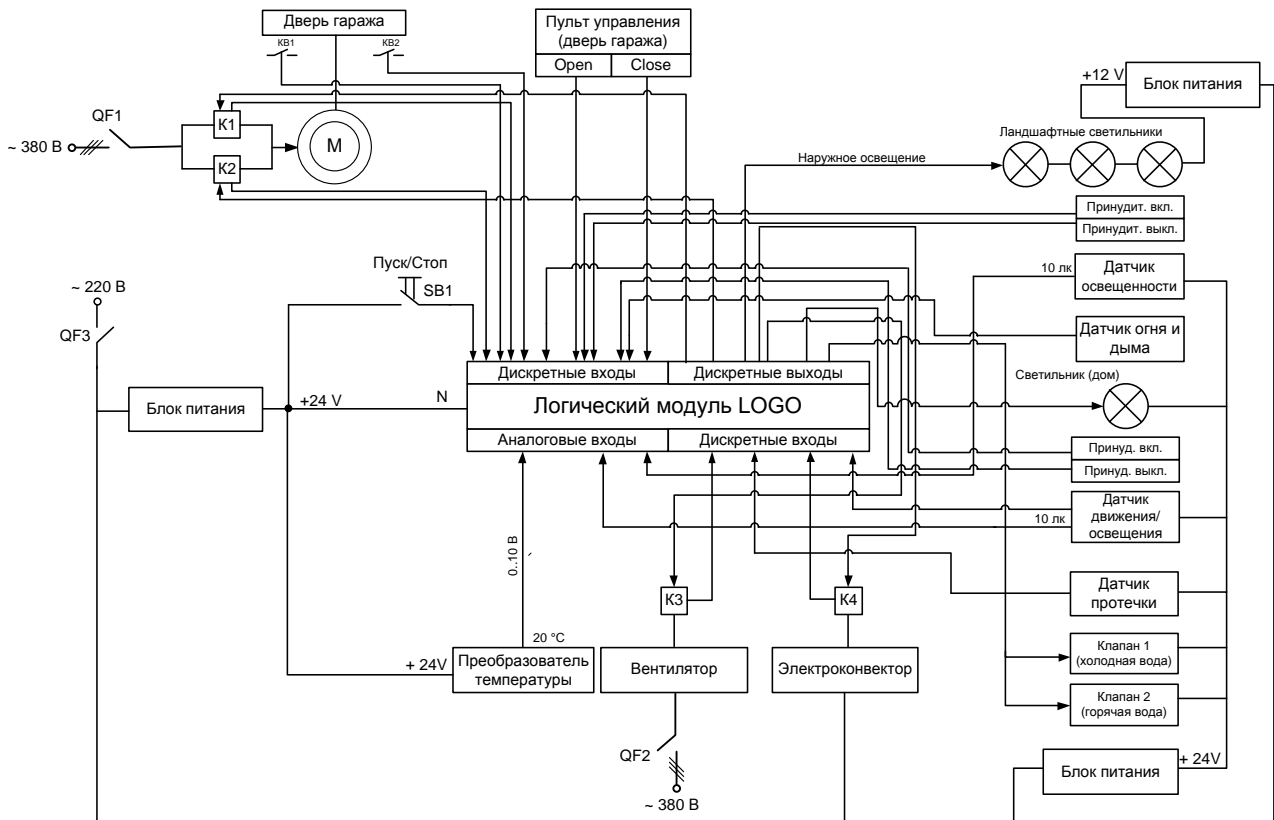


Рисунок 3.3 – Функциональная схема АСУ системы «Умный дом»

После того, как процесс запущен (система включена) все датчики работают параллельно, и каждый находится в режиме ожидания.

В начальный момент, при закрытых воротах, КВ1 разомкнут, соответственно КВ2 замкнут. При запросе «открыть дверь» (нажать кнопку «Открыть») двери открываются, КВ1 замыкается, КВ2, наоборот, размыкается. После того, как поступает новый запрос «закрыть двери» (кнопка «Закрыть») двери закрываются, КВ2 замыкается, КВ1 размыкается.

При срабатывании датчика дыма срабатывает встроенная в датчик сирена и отключается питание всей системы до тех пор, пока не будет включена вручную с помощью кнопки «ПУСК/СТОП».

Комнатный преобразователь влажности и температуры осуществляет климат-контроль в квартире. Если температуры комнаты будет выше 25°C , то подается сигнал на работу вентилятора, иначе, если температура ниже 20°C , то осуществляется работа электроконвектора.

Датчик наружной освещенности работает по следующему принципу: если освещенность меньше 10 лк, подается сигнал на включение наружного освещения, иначе запрос повторяется вновь.

Для включения комнатного освещения, требуется выполнение двух условий: обнаружения движения датчиком, и естественное освещение комнаты не должно превышать 5 лк.

Задание 4: Автоматизированная система управления дозировкой пека для смесительного передела электродного производства

Система управления формирует сигналы управления приводами задвижек, управление силовыми цепями электродвигателей и сбор сигналов состояния.

Начальное состояние системы – все клапана должны быть закрыты. После нажатия на кнопку пуск система управления открывает верхние задвижки включением двигателя М1 и М3. При этом расположенные на механизме концевые выключатели, изменяя свое состояние, сигнализируют системе управления о полном открытии верхнего задвижек, и система отключает двигатели М1 и М3. Далее происходит загрузка бункеров до момента, пока не сработают датчики веса, который сигнализирует системе управления об заполнении бункеров. Максимально-допустимый объем загружаемого материала в бункер составляет 1 м^3 . Далее включаются тэны подогрева сырья. При срабатывании обоих датчиков температуры система открывает нижние задвижки до момента, пока сигналы с концевых выключателей не изменят свое состояние на открыто, и запускается смеситель М5. После выгрузки задвижки закрываются и концевые выключатели занимают первоначальное положение. Включается таймер на отключение М5. После остановки двигателя М5 открывается задвижка смесителя, концевые выключатели меняют свое положение на открытое. После прихода сигнала о том, что бункер пуст задвижка смесителя закрывается и концевые выключатели занимают первоначальное положение.

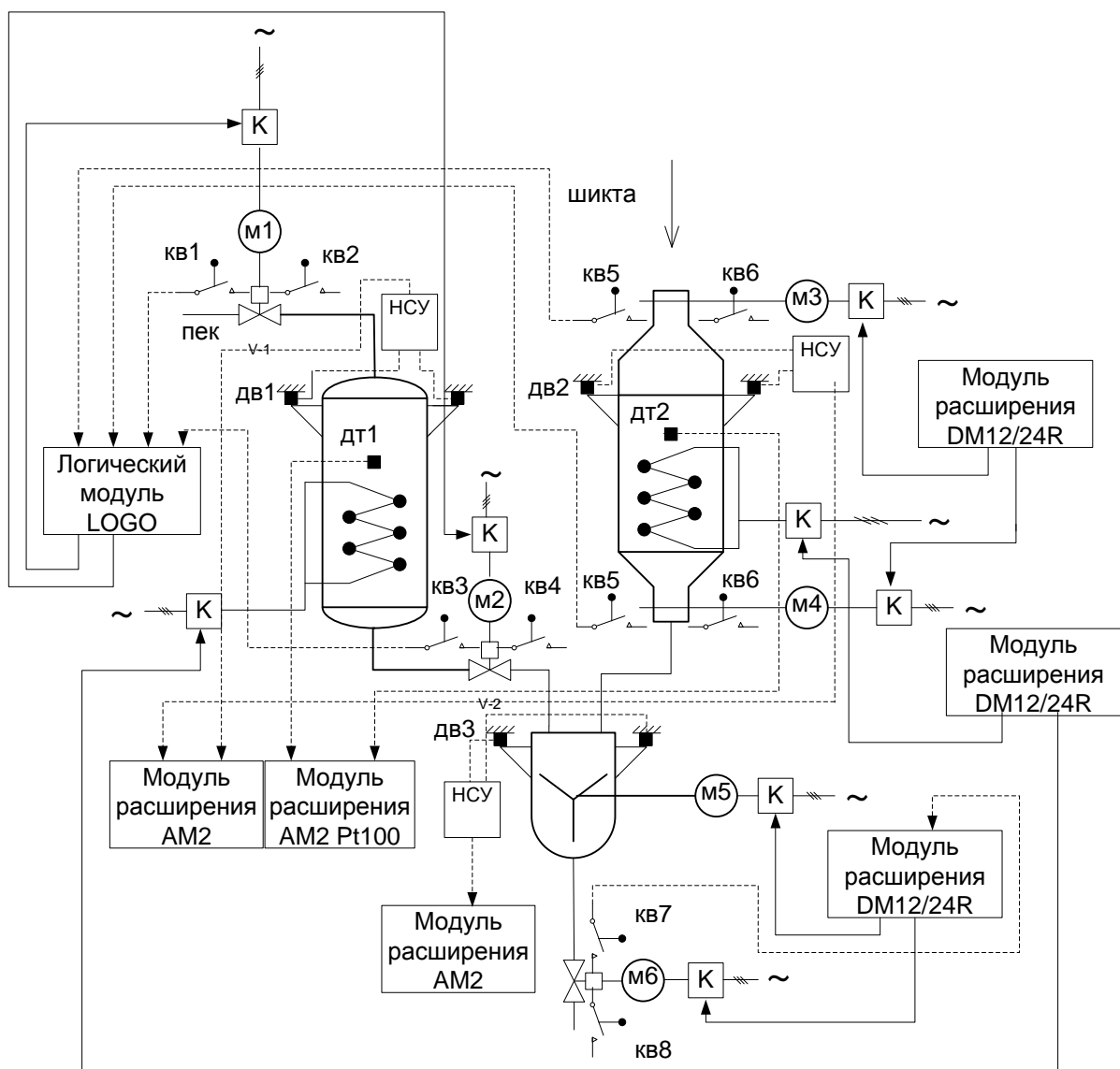


Рисунок 3.4 – Функциональная схема АСУ верхней загрузкой доменной печи

На рисунке приняты обозначения:

М – электродвигатель

КВ – концевой выключатель

К – реле, контактор

ДВ – датчик веса

НСУ – нормирующий усилитель сигналов от датчиков веса

Задание 5: Автоматизированная линия приготовления маргарина

Технологическая схема производства маргарина включает ряд основных операций, общих для всех видов маргарина:

- Дозирование жировых и жирорастворимых компонентов на жировых весах;
- Дозирование водорастворимых компонентов и раствора соли водно – молочных весах;
- Смешивание жировых компонентов;
- Смешивание водорастворимых компонентов;
- Смешивание всех рецептурных компонентов и темперирование;
- Эмульгирование;
- Охлаждение и кристаллизация;
- Пластическая обработка;
- Фасовка;
- Упаковка.

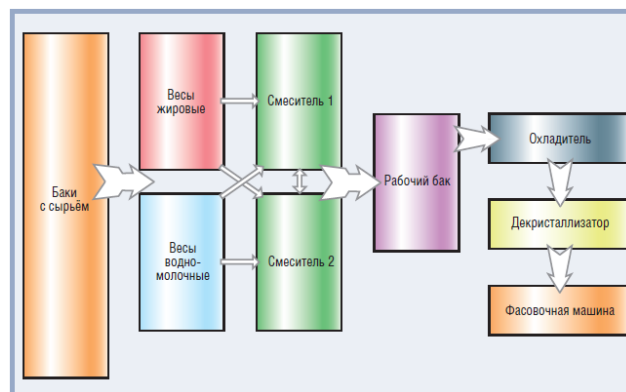


Рисунок 3.5 – Структурная схема линии приготовления маргарина

Процесс начинается с набора продукта на жировые весы из баков дезодорированного жира по 12 линиям и на водно – молочные весы по 4 линиям. Оператор вводит рецепты для обоих весов, т.е. указывает, по какой линии и какое количество продукта должно быть набрано на весы. После того как набор на весы закончен, происходит последовательная перекачка жировых и водно – молочных компонентов в смеситель. Перекачка возможна только при пустом принимающем баке. Перекачка идет до опорожнения весов. После этого начинается набор на весы другой партии компонентов. В смесителях происходят подогрев, равномерное перемешивание

продукции и перекачка ее в рабочий бак. Если в ходе перекачки уровень продукта в рабочем баке достигает 95%, процесс перекачки приостанавливается. Из рабочего бака продукт с помощью насоса высокого давления подается через охладитель, где происходит кристаллизация маргарина, и декристаллизатор на фасовочную машину.

Фасовочная машина работает в два этапа: предварительный налив (грубый) и окончательный долив (точный). При поступлении контейнера на платформу предварительного налива передаточный клапан становится в левое положение и открывается клапан предварительного налива. После окончания этой операции срабатывают стопоры, выдвигаются рычаги предварительного налива, и одновременно контейнер передвигается с платформы предварительного налива на промежуточную платформу, а новый контейнер – на платформу предварительного налива. Далее начинается предварительный налив в новый контейнер. При попадании контейнера на платформу окончательного долива передаточный клапан становится в среднее положение и открывается клапан окончательного долива, начинается соответствующая операция. Точный долив осуществляется по адаптивному алгоритму с упреждением на закрытие клапана и с последующим перерасчетом упреждения (с помощью коэффициента коррекции упреждения). При переливе на величину больше допустимой фасовочная машина останавливается для отбора лишнего продукта. При недоливе больше допустимого машина осуществляет импульсную доливку небольшими дозами. После завершения окончательного долива выдвигаются рычаги, и передаточный механизм одновременно перемещает наполненный контейнер с платформы окончательного налива на упаковку, а на его место – контейнер с промежуточной платформы.

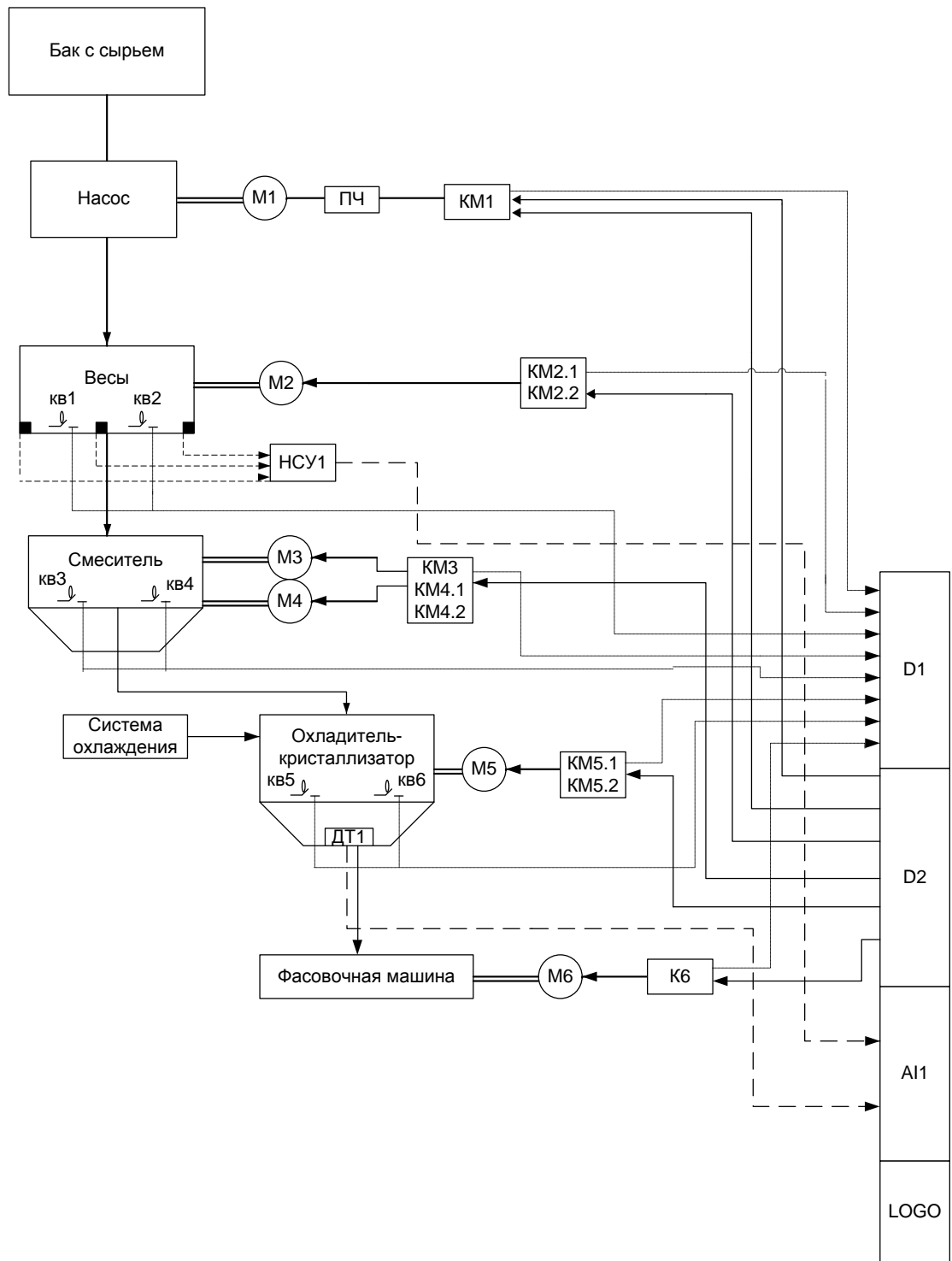


Рисунок 3.5 – Функциональная схема линии приготовления маргарина

Начальные условия работы системы управления следующие: концевые выключатели КВ1, КВ3, КВ5 замкнуты.

Для пуска технологического процесса по производству маргарина запускают двигатель М1. Насос начинает перекачивать продукцию из бака с сырьем на весы, по КА не сработают датчики веса ДВ1 – 3. Отключается ПЧ, съезжаем с концевого выключателя КВ1 и наезжаем на КВ2. Задвижка весов открывается. Когда вся продукция сыпается с весов на смеситель, закроется задвижка весов (съезжаем с концевого выключателя КВ2 и наезжаем на КВ1). Включается двигатель смесителя М3. В смесителе продукция перемешивается и охлаждается. Открывается задвижка смесителя (съезжаем с концевого выключателя КВ3 и наезжаем на КВ4) и все содержимое сыпается в охладитель – кристаллизатор. Когда смеситель полностью освободится от продукции, задвижка смесителя закроется (съезжаем с концевого выключателя КВ4 и наезжаем на КВ3). Продукция в охладителе – кристаллизаторе охлаждается до температуры – 2⁰С. Открывается задвижка охладителя – кристаллизатора (съезжаем с концевого выключателя КВ5 и наезжаем на КВ6) и одновременно запускаем двигатель фасовочной машины М6. Как вся продукция сыплется с охладителя – кристаллизатора, задвижка охладителя – кристаллизатора закроется (съезжаем с концевого выключателя КВ6 и наезжаем на КВ5). Продукт поступил на фасовку, процесс закончен.

Задание 6: Система автоматического регулирования температуры двигателя прокатного стана

Оборудование прокатного стана, служащее для деформации металла между вращающимися валками, называют основным, а для выполнения прочих операций — вспомогательным. Основное оборудование состоит из одной или нескольких главных линий, в каждой из которых располагается 3 вида устройств: 1 - рабочие клетки (одна или несколько) — к ним относятся прокатные валки с подшипниками, станины, установочные механизмы, плитовины, проводки.

2 - электродвигатели для вращения валков.

3 - передаточные устройства от электродвигателей к прокатным валкам, состоящие большей частью из шестерённой клетки, шпинделей и муфт. Между шестерённой клетью и электродвигателем часто устанавливают редуктор. Если каждый валок имеет свой электродвигатель, передаточные устройства состоят только из шпинделей. Схематически, прокатный стан изображен на рисунке 3.6.

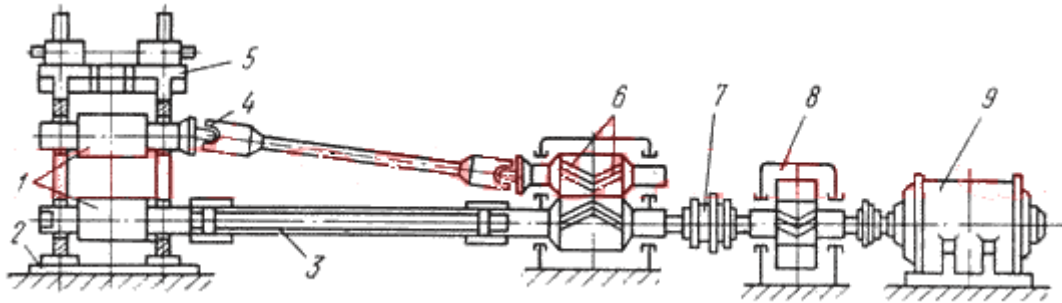


Рисунок 3.6 - Схема прокатного стана

На рисунке оборудование прокатного стана имеет следующие обозначения

- 1 – прокатные валки;
- 2 – плита;
- 3 – трехшпиндель;
- 4 – универсальный шпиндель;
- 5 – рабочая клетка;
- 6 – шестеренная клетка;
- 7 – муфта;
- 8 – редуктор;
- 9 – двигатель

Двигатель прокатного стана имеет мощность 2.5 МВт и, соответственно, большие размеры. Напряжение питания составляет 10 кВ. Двигатель имеет принудительное охлаждение, для обеспечения которого использован асинхронный двигатель мощностью 160 кВт. Двигатель прокатного стана изображен на рисунке 3.7.



Рисунок 3.7 - Двигатель прокатного стана

Управление технологическим процессом выполнено на базе контроллера Siemens LOGO! (логический модуль LOGO! Basic). Логический модуль формирует поочередно дискретные сигналы задания скорости на ПЧ. Управление силовыми цепями электродвигателей и сбор сигналов состояния выполняется с помощью модулей расширения LOGO! DM8 а также самим логическим модулем.

Системой автоматического регулирования (САР) температуры является замкнутая, одноконтурная система. Функциональная схема САР температуры представлена на рисунке 3.8.

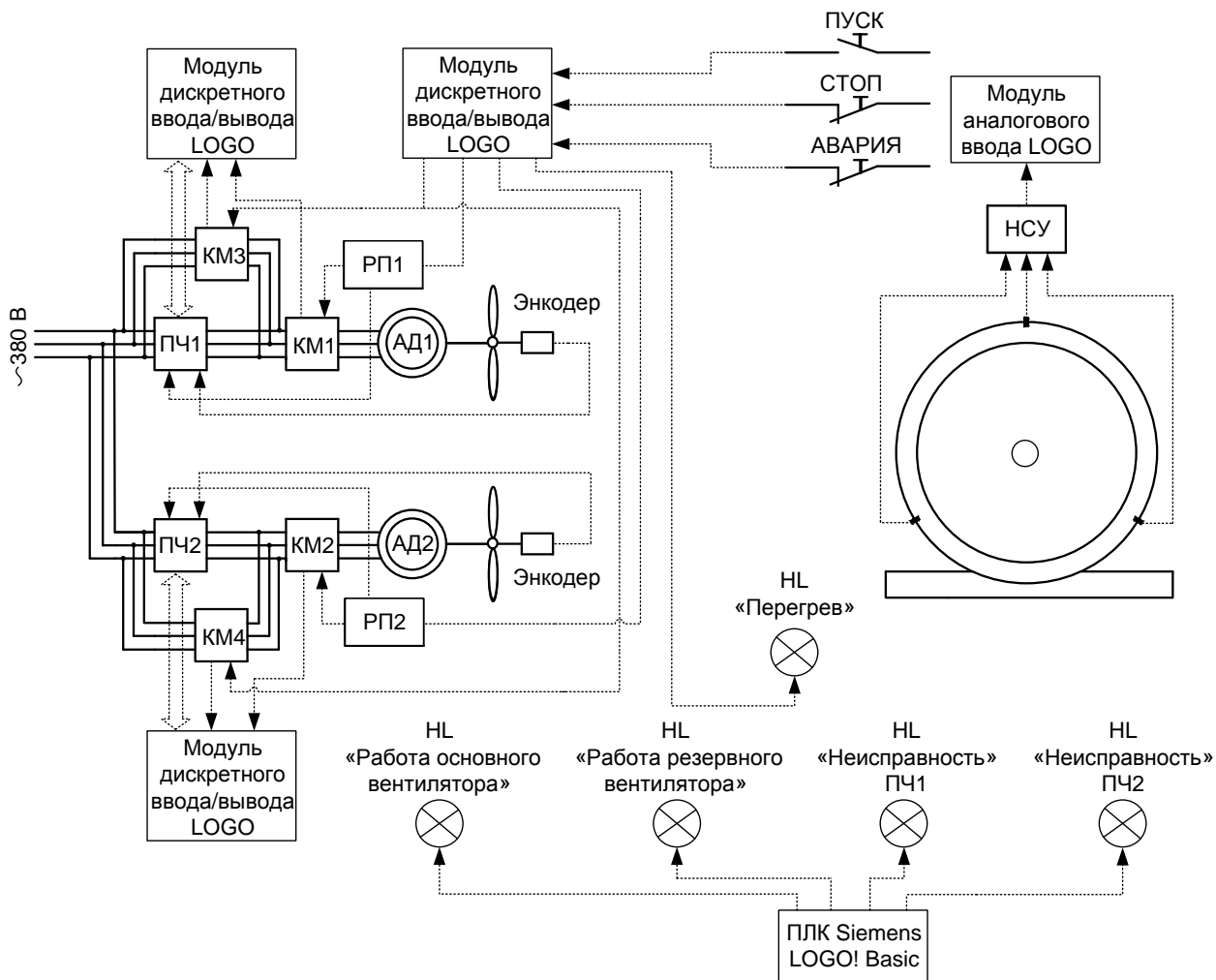


Рисунок 3.8 – Функциональная схема САР температуры

На рисунке приняты обозначения:

АД – асинхронный электродвигатель

РП – промежуточное реле

КМ – реле, контактор

НСУ – нормирующий усилитель сигналов от датчиков температуры

В работе системы можно выделить несколько режимов работы:

1) Работа привода основного вентилятора от ПЧ 1 с формированием задания на скорость.

2) Работа привода резервного вентилятора от ПЧ 2 с формированием задания на скорость. Данный режим используется при невозможности по каким либо причинам работать основному вентилятору.

3) Байпас, работа привода основного вентилятора. Привод в данном режиме нерегулируемый. Данный режим используется если не возможен первый или второй режимы.

4) Байпас, работа привода резервного вентилятора. Привод в данном режиме нерегулируемый. Данный режим используется если не возможен первый, второй и третий режимы.

5) Авария. Система не может работать в каком-либо режиме, либо перегрев.

Задание 7: Автоматизированная система управления паровым котлом

Регулирование питания котельных агрегатов и регулирование давления в барабане котла главным образом сводится к поддержанию материального баланса между отводом пара и подачей воды. Параметром характеризующим баланс, является уровень воды в барабане котла. Надежность работы котельного агрегата во многом определяется качеством регулирования уровня. При повышении давления, снижение уровня ниже допустимых пределов, может привести к нарушению циркуляции в экранных трубах, в результате чего произойдет повышение температуры стенок обогреваемых труб и их пережог.

Повышение уровня также ведет к аварийным последствиям, так как возможен заброс воды в пароперегреватель, что вызовет выход его из строя. В связи с этим, к точности поддержания заданного уровня предъявляются очень высокие требования. Качество регулирования питания также определяется равенством подачи питательной воды. Необходимо обеспечить равномерное питание котла водой, так как частые и глубокие изменения расхода питательной воды могут вызвать значительные температурные напряжения в металле экономайзера.

В общем случае автоматизация работы парового котла должна осуществляться по следующим параметрам:

- по поддержанию постоянного давления пара;
- по поддержанию постоянного уровня воды в котле;
- по поддержанию соотношения «газ – воздух»;
- по поддержанию разрежения в топочной камере.

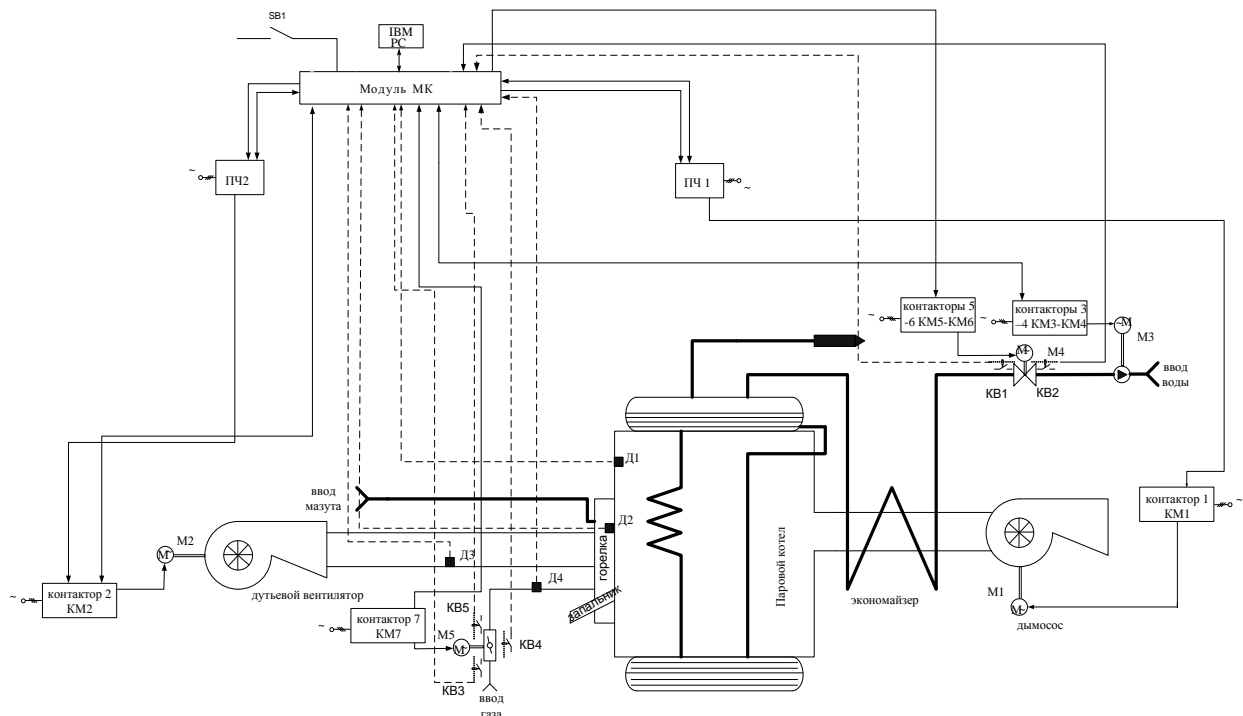


Рисунок 3.9 – функциональная схема автоматизации парового котла.

Д1-аналоговый датчик уровня воды в барабане, Д2-аналоговый датчик разряжения, Д3-аналоговый датчик давления воздуха, Д4-аналоговый датчик давления газа.

Начальные условия работы системы управления следующие:

- Задвижка подачи воды в барабан закрыта (КВ1=1);
- Задвижка подачи газа в топку открыта на половину (КВ4=1);
- Уровень воды в барабане относительно его оси равен 0;
- Разряжение в топке равно 5,0 мм.рт.ст.;
- Давление воздуха на входе топки равно 4,5 мм.рт.ст.;
- Давление газа на входе в топку равно 50,0 кПа.

Далее в рабочем состоянии система анализирует и выполняет следующее.

1. Проверяет уровень воды в барабане, если уровень воды ниже нормы (отклонение от оси барабана на 100 мм), то с контроллера подается сигнал на контактор 4 который при срабатывании включает двигатель М4. Двигатель М4 открывает задвижку подачи воды в барабан, при это поступает сигнал о том, что концевой выключатель КВ1 отключился (КВ1=0). Когда задвижка открылась до конца, срабатывает концевой выключатель КВ2 (КВ2=1), задвижка открыта. Происходит торможение М4 и подается сигнал на контактор 3, тем самым происходит пуск двигателя М3, который приводит в движение насос питания барабана - происходит закачка воды в барабан. После того как уровень воды стал

равен уровню высоты оси барабана, срабатывает датчик уровня воды Д1, и подает сигнал на контроллер. Затем контроллер подает сигнал на отключение контактора 3, происходит остановка двигателя насоса. После этого срабатывает контактор 4 и М4 закрывает задвижку. КВ1 срабатывает – сигнал о том, что задвижка закрыта. Отключается контактор 4 – стоп М4.

2. Проверка давления газа на входе в топку. Если давление газа не соответствует норме, поступает сигнал с датчика давления газа Д4. Контроллер подает сигнал на полное открытие задвижки подачи газа. Включается контактор 5 который пускает двигатель привода задвижки М5. После того как поступит сигнал от концевого выключателя КВ5 (КВ5=1), подается сигнал на отключение контактора 5, М5 останавливается.

3. Проверка давления воздуха на входе в топку. Если давление воздуха не соответствует заданной норме, то срабатывает датчик давления воздуха Д3, подает сигнал на контроллер. Контроллер подает сигнал на ПЧ2 об уменьшение или увеличение оборотов двигателя вентилятора М2.

4. Проверка разряжения в топке котла. Если разряжение в топке выше или ниже, подается сигнал с датчика разряжения Д3, после чего подается сигнал на преобразователь частоты ПЧ1 на увеличение или понижение количества оборотов двигателя привода вентилятора дымососа.

Задание 8: Автоматизация проточно-транспортной системы углеподготовки

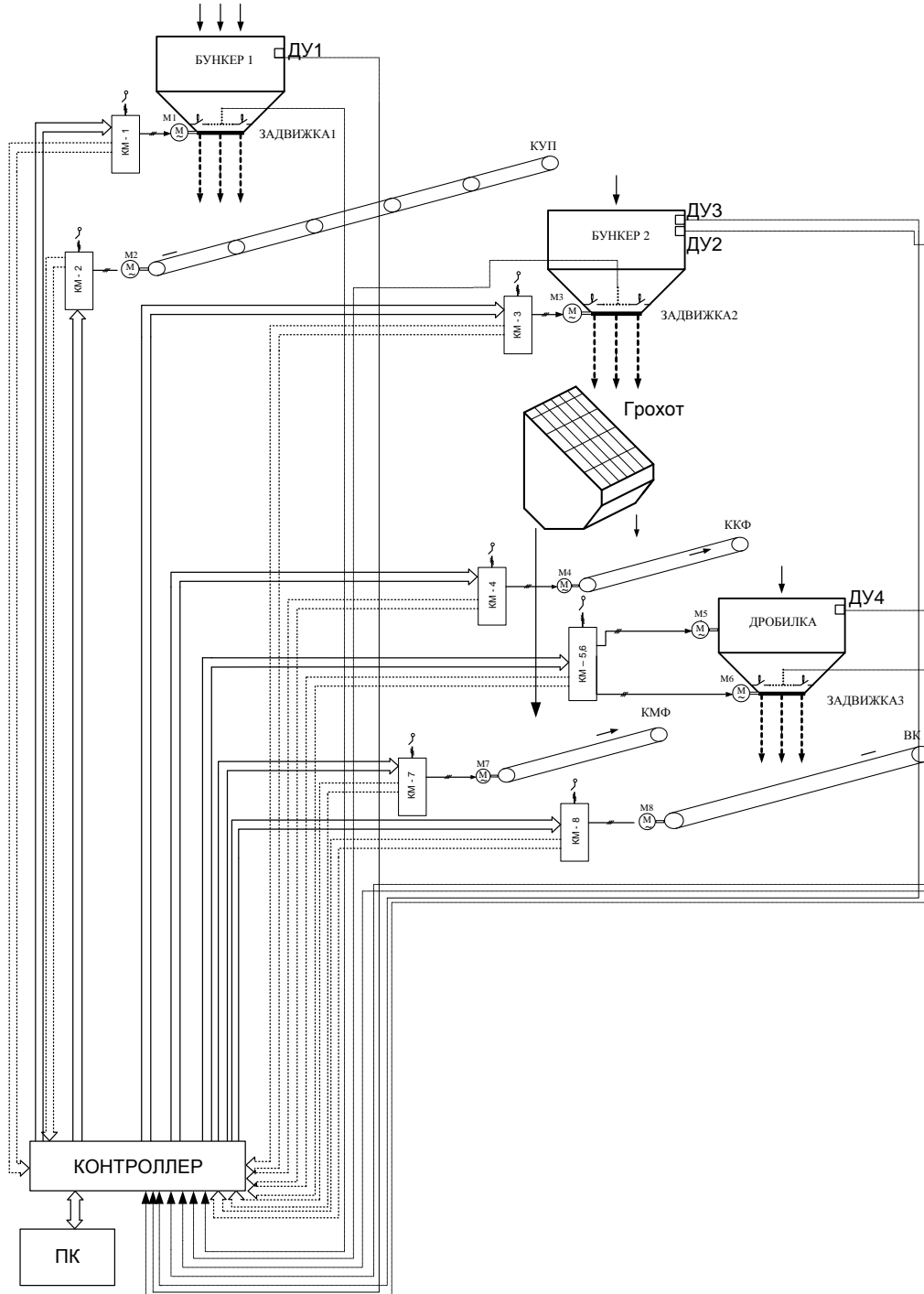


Рисунок 3.10 - Функциональная схема автоматизации проточно-транспортной системы углеподготовки

В состав оборудования входят:

- 3 бункера;
- бункер-дробилка оснащенный асинхронным двигателем мощностью 3 кВт;
- 4 конвейера угольной фракции;

Объект автоматизации включает в себя 8 асинхронных электродвигателей мощностью от 0,75 кВт до 3 кВт.

При углеподготовке угольная фракция поступает из вагоноопрокидывателя в бункер 1. Далее уголь по конвейеру углеподготовки (КУП) поступает в бункер 2, в данном бункере находится датчик уровня (ДУ), при переполнении бункера он срабатывает и отправляет аналоговый сигнал на контроллер, вследствие чего останавливается КУП. Далее уголь попадает на так называемый «грохот», где распределяется на крупную и мелкую фракции. От «грохота» мелкая фракция попадает на конвейер мелкой фракции (КМФ), крупная фракция на конвейер крупной фракции (ККФ). С ККФ фракция попадает в бункер-дробилку, где также находится ДУ, в нем фракция измельчается и попадет на выходной конвейер (ВК), вместе с мелкой фракцией.

Задание 9: Автоматизация система дробления базальтов для строительства автострады

Технологическая (производственная) линия представляет собой комплекс дополняющего друг друга оборудования, для выполнения уже заложенной технологической идеи (измельчение, дробление, переработка, транспортирование материала, очистка газов либо приготовление смеси и пр.). Оборудование, действующее в линии согласованно, т.е. каждое из них в определенной последовательности отдает сырье на следующую операцию. Оборудование, укомплектованное в линии, представляет собой комплекс, на вход которого подают исходное сырье, а на выходе получают готовый продукт. В нашем случае это дробленый базальт фракций разных размеров.

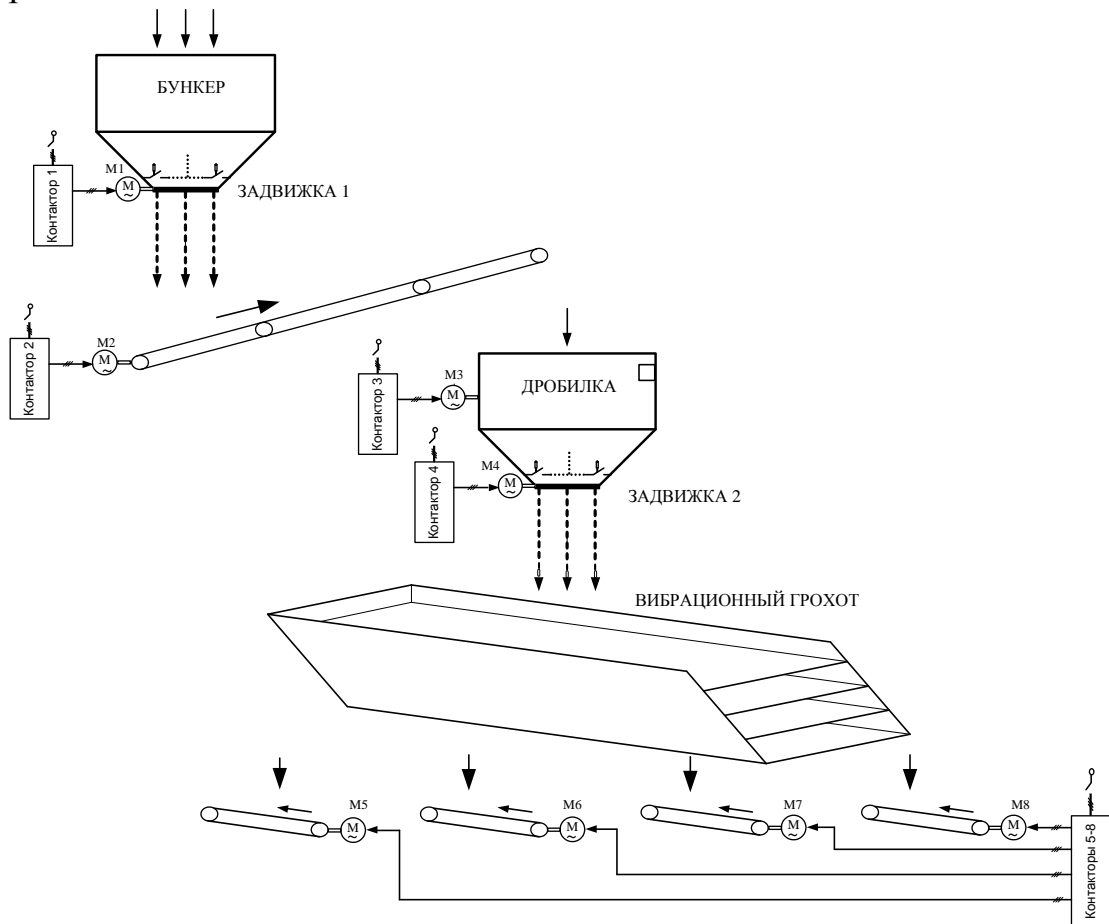


Рисунок 3.11 - Функциональная схема автоматизации система дробления базальтов

В технологическую производственную линию входят:

- бункер для засыпки неизмельченного базальта
- бункер-дробилка оснащенный асинхронным двигателем
- вибрационный грохот
- 5 конвейеров

После заполнения бункера базальтом открывается задвижка 1, затем по конвейеру базальт поступает в бункер-дробилку. При достижении недробленого базальта указанного уровня в бункере-дробилке, срабатывает датчик уровня, и конвейер останавливается. После дробления базальта, открывается задвижка 2, и дробленый базальт попадает на вибрационный грохот. В вибрационном грохоте дробленый базальт распределяется на фракции разных размеров: 0-5мм, 5-10мм, 10-15мм и 15-20мм. Для каждого размера фракций предназначены отдельные конвейеры для дальнейшей транспортировки.

3.3 Пример расчета курсового проекта

3.3.1 Разработка и обоснование функциональной схемы системы автоматического управления технологическим процессом

Бесконусное роторное загрузочное устройство (БРЗУ), разработанное компанией TOTEM [39], предназначено для приема шихтовых материалов и загрузки их в доменную печь, распределения по сечению колошника по определенным режимам: кольцевой, секторный, спиральный и комбинированный (по кольцу и спирали).

Общий вид и основные размеры устройства показаны на рисунке 3.12. БРЗУ состоит из следующих деталей: приёмной воронки, верхнего и нижнего блоков клапанов, промежуточного бункера, шихтового затвора с компенсатором, центрального редуктора, ротора с приводом. При конструировании БРЗУ была предпринята попытка как можно больше упростить его конструкцию, чтобы максимально обеспечить его надёжность. Основной (центральный) редуктор БРЗУ имеет только одну цилиндрическую шестерню в комбинации с подшипником, двумя уплотнительными кольцами и неподвижной системой водяного охлаждения. Верхний и нижний блоки клапанов одинаковой конструкции, они состоят из шихтовых затворов и газоплотнительных клапанов. Газоплотнительный клапан – это закрывающее устройство с контактом типа «металл на металл», при этом сохраняется возможность поменять этот принцип на контакт «металл на резину».

Составные части БРЗУ скомпонованы таким образом, чтобы шихтовой материал подавался чётко вдоль центральной оси загрузочного устройства, что снижает сегрегацию и улучшает окружную равномерность при распределении материала на колошнике доменной печи.

Основными чертами технологии загрузки с помощью БРЗУ, обеспечивающими его преимущество над другими существующими загрузочными устройствами, являются следующие:

а) многослойная укладка материала широкими потоками, что обеспечивает возможность усреднения загружаемой порции материала. Во время загрузки одной порции пять лопастей ротора укладывают до 40 и более слоёв.

б) высокая степень окружной равномерности, которая достигается благодаря тому, что поток материала разбивается на 5 равных вращающихся потоков.

в) мягкая укладка материала на поверхность, что позволяет исключить разрушение профиля предыдущей порции материала. Это достигается благодаря разделению основного потока на 5 потоков и укладке материала широкими потоками небольшой толщины. Мягкая укладка материала обеспечивает возможность лучшего предвидения того, как он будет распределяться послойно.

г) гибкое управление распределением материала по радиусу. Оно обеспечивается с помощью плавного изменения скорости вращения ротора.

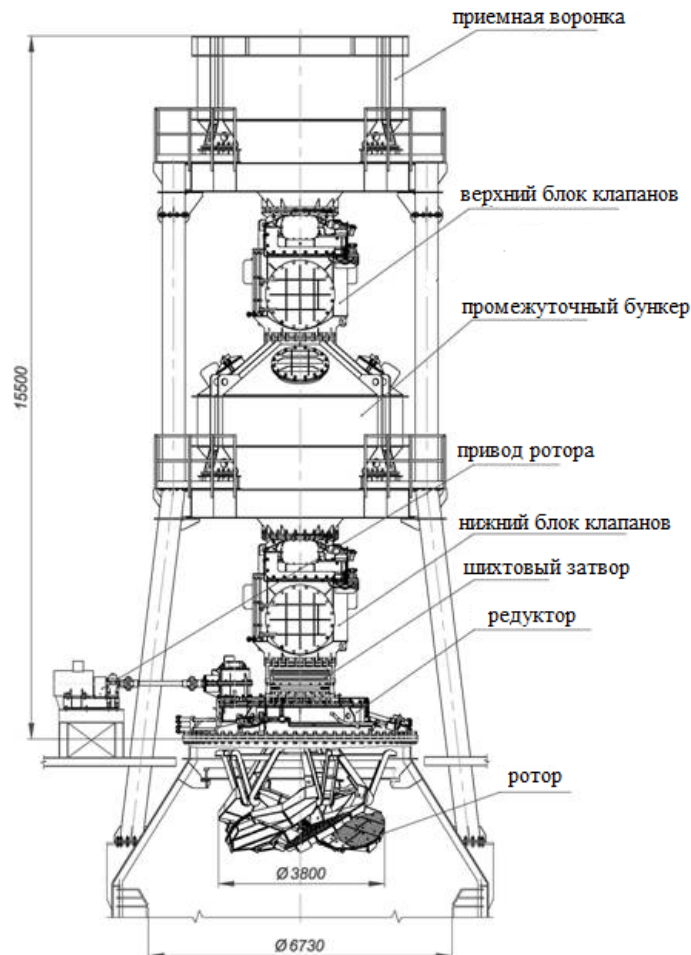


Рисунок 3.12 – Общий вид БРЗУ

Работа верхней системы загрузки, выполненной на базе БРЗУ, описана ниже (рисунок 3.13). Шихтовый материал, поднятый на уровень загрузочного устройства, поступает в приемную воронку порционно. Далее с помощью системы клапанов (верхний и нижний клапан), обеспечивающей

изоляцию колошникового газа от атмосферы, осуществляется пересыпание шихты из приемной воронки в промежуточный бункер при открытом верхнем клапане и закрытом нижнем и дальнейшее ссыпание из бункера на пятилопастной роторный распределитель шихты при изменении состояний клапанов. Количество материала, поступающее на распределитель и в промежуточный бункер, регулируется затвором, изменяющим диаметр выпускного отверстия – калиброванного кольца. Регулирование диаметра осуществляется только при наладке и подготовке оборудования к работе. В соответствии с программой загрузки имеющийся материал распределяется поровну на два загрузочных кольца колошника или гребня. Скорость вращения распределителя в зависимости от положения гребня указана в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Положение гребня	P1	P2	P3	P4	P5
Скорость распределителя	5,5	8,0	10,3	12,3	15

Датчик верхнего уровня ДУ 1 формирует аварийный сигнал переполнения приемной воронки. Сигналы открытия и закрытия клапанов формируются концевыми выключателями KB1-KB4. Сигнал, формируемый датчиком ДУ 2, информирует о наличии материала в приемной воронке.

Управление скоростью вращения роторного распределителя БРЗУ осуществляется преобразователем частоты (ПЧ). ПЧ питает двигатель распределителя двумя уровнями напряжения, согласно характеристике скалярного управления.

Управление технологическим процессом выполнено на базе контроллера Siemens LOGO! (логический модуль LOGO! Basic). Логический модуль формирует поочередно два дискретных сигнала задания скорости на ПЧ. Управление силовыми цепями электродвигателей и сбор сигналов состояния выполняется с помощью модуля расширения LOGO! DM8 а также самим логическим модулем.

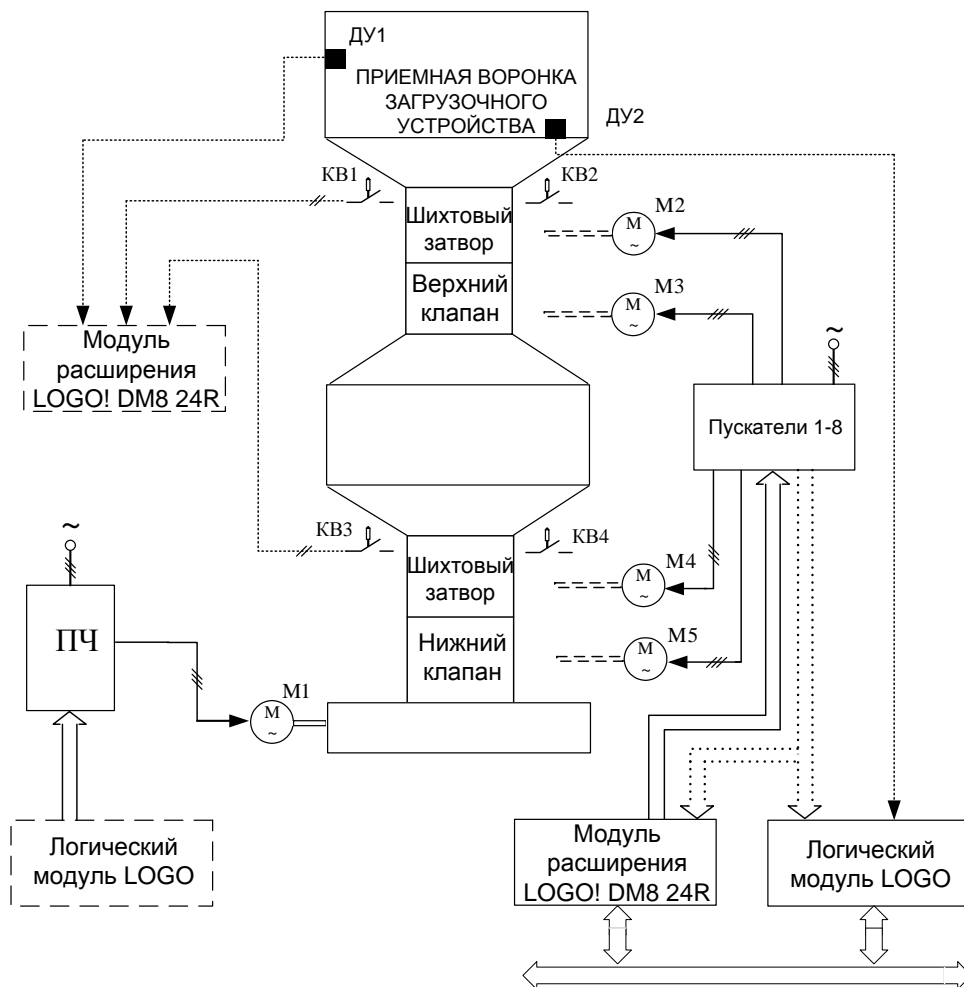


Рисунок 3.13 – Функциональная схема АСУ верхней загрузкой доменной печи.

За раз промежуточный бункер способен вместить до 20 м^3 материала. Скорость ссыпания потока материала из промежуточного бункера зависит от диаметра калибровочного кольца, который регулируется в процессе наладки оборудования. Принимаем скорость (производительность) ссыпания потока материала равной $0,4 \text{ м}^3/\text{с}$. Тогда время работы распределителя на каждой скорости составит 25 с.

3.3.2 Расчет мощности и выбор электродвигателей

БРЗУ разработано и производится компанией TOTEM. БРЗУ является полностью укомплектованным и законченным продуктом. Технические параметры БРЗУ для доменной печи объемом 2000 м^3 сведены в таблице 3.2.[39]

Таблица 3.2

Пропускная способность, скипов в час	Полезная емкость приемной воронки, м ³	Полезная емкость промежуточного бункера, м ³	Скорость вращения ротора, об/мин	Мощность электропривода ротора, кВт
50	17	20	0...20	~ 40
Номинальный момент вых-м органе исполнит. мех-ма клапана, Нм	Ход выходного органа исполнит. мех-ма клапана, мм	Мощность электропривода затвора, кВт	Расчетное давление газа под колошником, МПа (изб.)	Синхронная частота вращения двигателя ротора, об/мин
20000	≥ 100	3	0,25	1500

На основании данных таблицы производим выбор электродвигателей.

В качестве электродвигателя привода роторного распределителя выбираем электродвигатель АИР 200 L4, технические характеристики которого приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Номинальный ток статора, А	КПД, %	Коэффициент мощности	I_{II} / I_H
45	1500	83,1	92,5	0,89	7,5

Поставщик: ООО "Регионэлектросбыт", г. Екатеринбург, стоимость: 24 000 руб. [2]

Шихтовый затвор комплектуем двигателем АИР 100 S4. Технические характеристики представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Номинальный ток статора, А	КПД, %	Коэффициент мощности	I_{II} / I_H
3	1500	6,7	82	0,83	7

Поставщик: ООО "Регионэлектросбыт", г. Екатеринбург, стоимость: 4 000 руб. [40]

Электропривод клапана комплектуем прямоходным исполнительным механизмом МЭП. МЭП применяется для перемещения регулирующих органов в системах автоматического регулирования ТП в соответствии с командными сигналами автоматических регулирующих и управляющих устройств. Внешний вид МЭП и его продольный разрез представлен на рисунке 3.14.

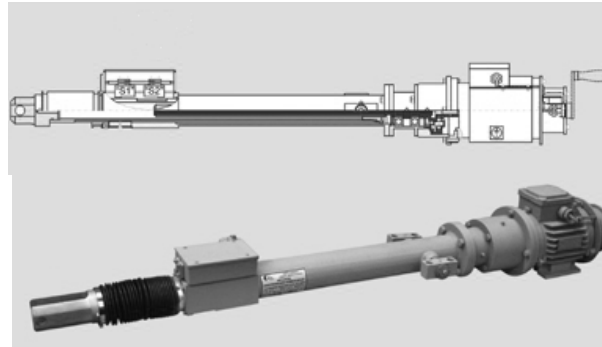


Рисунок 3.14 – Внешний вид и продольный разрез МЭП

Ротор электродвигателя через редуктор приводит во вращение винт винтовой пары. При этом гайка вместе со штоком, в котором она установлена, движется поступательно, перемещая рабочий орган.

Выбираем МЭП-25000/16-160-97, технические характеристики которого представлены в Приложение А. МЭП-25000/16-160-97 укомплектован двигателем АИР 63 В4, с технические характеристики собранными в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Мощность, Вт	Синхронная частота вращения, об/мин	Номинальный ток статора, А	КПД, %	Коэффициент мощности	$I_{П} / I_{Н}$
370	1500	1,18	68	0,7	5

Поставщик ООО «Торговый Дом «Приводэлектромонтаж».[41]

3.3.3 Выбор преобразователя частоты

Преобразователь частоты (ПЧ) выбирается для управления электродвигателем распределителя ротора. Преобразователь частоты должен обеспечить плавный старт и переход с одной скорости на другую.

Также преобразователь частоты должен иметь возможность осуществлять ступенчатое управление скоростью двигателя с помощью дискретных сигналов по скалярному закону управления U/f.

Исходя из определенных выше условий, выбираем преобразователь частоты компании Delta Electronics серия VFD-F модель VFD450F43A. Особенности преобразователя:

- Серия оптимизирована для работы с насосами и вентиляторами;
 - Автоматический подъем начального пускового момента и компенсация скольжения при увеличении нагрузки;
 - Диапазон регулировки выходной частоты 0.1...120 Гц;
 - Широкие возможности задания вольт/частотной характеристики U/F (пять встроенных характеристик и одна, задаваемая пользователем);
 - Возможность работы привода с переходом на одну из 15-ти предустановленных частот вращения, в том числе, в автоматически исполняемом цикле с заданным временным интервалом каждого шага в диапазоне от 0 до 65500сек (обеспечивается встроенным PLC – программируемым контроллером);
 - 11 дискретных входов (8 многофункциональных программируемых).
- Технические характеристики VFD450F43A приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Модель VFD450F43A	450
Номинальная мощность применяемого электродвигателя, кВт	45
Полная мощность преобразователя, кВА	69
Номинальный выходной ток, А	91
Параметры питающей сети	~ 3 x (380 – 480)В ±10%, частотой 50/60Гц ±5%
Другие функции	S-образная кривая разгона/замедления, автоматическая стабилизация вых. напряжения, предотвращение останова из-за сверхтока и перенапряжения

Поставщик: ООО «Матрикс Групп», стоимость 82000 руб.[42]

3.3.4. Выбор и обоснование датчиков

Для управления технологическим процессом применяются следующие датчики:

- датчик уровня материала в приемной воронке;
- датчик положения клапанов.

3.3.4.1 Датчик уровня материала в приемной воронке

Для сигнализации уровня материала в приемной воронке используем бесконтактный емкостной выключатель (ВВЕ) предприятия «Сенсор». Выключатель применяется для контроля уровня сыпучих и жидких веществ и как датчик положения, счета любых объектов. Создает электрическое поле в зоне чувствительности и имеет полупроводниковый коммутационный элемент.[43]

Способ расположения датчиков представлен на рисунке 3.15.

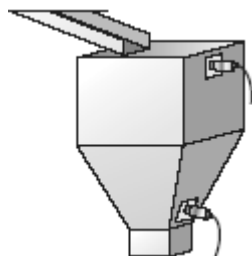


Рисунок 3.15 – Способ расположения датчиков.

Способ расположения: в резервуаре из любого материала на уровне контроля делается люк, закрываемый пластиной из диэлектрика (стекло, оргстекло, текстолит) и датчик устанавливается снаружи, за люком. Конкретные рекомендации по размерам люка, толщине пластины при разных контролируемых материалах и датчиках даны в Приложение Б.

ВВЕ имеют чувствительный элемент в виде вынесенных к активной поверхности пластин конденсатора. Приближение объекта из любого материала к активной поверхности ведет к изменению емкости конденсатора, параметров генератора и в конечном итоге к переключению коммутационного элемента.

Выбираем выключатель модели ВВЕ-М30-73Р-1121-СА с нормально разомкнутым контактом и штепсельным разъемом. Схема подключения, габаритные размеры представлены в Приложение В.

Также выбираем разъем ПВ-РКУ – кабельную часть разъема углового исполнения, поставляющуюся отдельно.

3.3.4.2 Датчик положения

Датчик положения осуществляет сигнализацию положения шихтовых затворов. Он должен обладать высокой пыле-влажонепроницаемостью.

В качестве датчика положения выбираем концевой выключатель прямого действия с толкателем, с нормально разомкнутым контактом, без задержки срабатывания типа ВП15 (рисунок 3.16). Поставщик ООО «Активэнерго.РУ» 426028, г. Ижевск, ул. Степная, 6”, цена: 370.00 руб.[44]



Рисунок 3.16 Концевой выключатель прямого действия (внешний вид).

Выключатели концевые мгновенного действия серии ВП15М предназначены для применения в электрических цепях управления, сигнализации и контроля относительного положения подвижных частей механизма в пространстве.

В определенных точках пути контролируемого объекта устанавливаются управляющие упоры (кулачки). При достижении контролируемым объектом этих точек, кулачки осуществляют давление на рычаг концевого выключателя, размыкая контакты и разрывая электрическую цепь.

Технические характеристики концевого выключателя ВП15 приведены в таблице 2 ниже.

Таблица 3.7

Ток продолжительного режима, А	10
Номинальное рабочее напряжение постоянного тока, В	12, 24, 110, 220, 440
Номинальное напряжение изоляции, В	440
Количество контактов	1з, 1р, 1з+1р
Степень защиты	IP54

3.3.5 Выбор элементов электроавтоматики

3.3.5.1 Выбор контакторов и пускателей

Выбор пускателей осуществляется по номинальной мощности и/или номинальному току двигателей, а также напряжению питания катушки контактора равному напряжению питания LOGO! 24 В (кроме пускателей на двигатели М2 и М4 (рисунок 3.13)), возможностью установки/наличию дополнительного нормально замкнутого контакта.

В соответствии с приведенными требованиями выбираем контакторы серии КМИ компании IEK (Приложение Г).

Малогабаритные контакторы переменного тока общепромышленного применения КМИ на ток нагрузки от 9 до 95А предназначены для пуска, остановки и реверсирования асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором на напряжение до 660 В (категория применения АС-3). Все исполнения на ток нагрузки до 40 А имеют одну группу замыкающих или размыкающих дополнительных контактов. Исполнения на ток нагрузки свыше 40 А две группы (замыкающую и размыкающую). Область применения малогабаритных контакторов серии КМИ управление вентиляторами, насосами, тепловыми завесами, печами, кран-балками, станками, освещением, в системах автоматического ввода резерва.

Для коммутации цепей двигателей шихтовых затворов выбираем контактор модели КМИ-10910 230. КМИ-10910 230 доукомплектовываем приставкой ПКИ-22 – увеличения дополнительных контактов (2з+2р). Поставщик: интернет-магазин «Электропортал», партнер: ООО «Россальянс Сервис», г. Новосибирск. Стоимость: КМИ-10910 230 – 182,0 руб., ПКИ-22 – 94 руб.[45]

Мощность катушки цепи управления составляет 60 Вт.

Для коммутации силовых цепей двигателей МЭП выбираем пускатель бесконтактный реверсивный ПРБ-3А, предназначенный для управления электрическими исполнительными механизмами. Он осуществляет пуск, реверс и защиту асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором. Технические характеристики пускателя представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7

параметр	величина
Электрическое питание	~ 380/400 В 50/60 Гц
Максимальный коммутируемый ток, А	3
Напряжение источника питания цепи управления, В	26±2

Поставщик: ООО «Теллев», стоимость: 3200 руб.[46]

3.3.5.2 Выбор автоматических выключателей и предохранителей

Выбор автоматического выключателя производится для защиты силовых цепей от перегрузок и токов короткого замыкания (сверхтоков).

Выбираем автоматические выключатели компании IEK серии ВА 47-100 и ВА 47-29 и автоматические выключатели Danfoss СТИ 100 (Приложение Д).

Автоматические выключатели ВА 47-29 – современное поколение аппаратов, предназначенных для защиты электрических цепей от перегрузок и токов короткого замыкания (сверхтоков), а также для осуществления оперативного управления участками электрических цепей. Выключатели выпускаются с защитными характеристиками В, С, D (ВА 47-100 только С, D). Все изделия соответствуют ГОСТ Р 50345-99 и изготавливаются по ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003.

Поставщик: Торговый дом «Энерго-Кабель» Московская область г. Лобня, ул. Промышленная, д.8.[47]

Серия изделий СТИ, имеющая гибкую модульную конструкцию, предоставляет большой выбор навесных вспомогательных функциональных устройств и принадлежностей: вспомогательных контактов, контактов аварийной сигнализации, максимальных и минимальных расцепителей.

Поставщик: «Matrix Group, LLC - Продукция компании DANFOSS».[42]

Производим выбор автоматических выключателей (ВА) для шкафа №1 в соответствии со следующей схемой (рисунок 3.17):

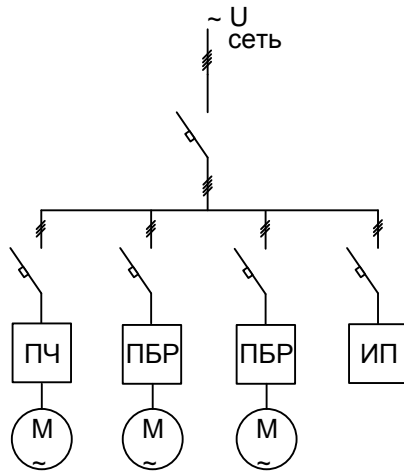


Рисунок 3.17 – Схема соединений автоматических выключателей шкафа №1.

На рисунке обозначены следующие электрические элементы:

- ПЧ – преобразователь частоты;
- ПБР – пускатель бесконтактный реверсивный;
- ИП – источник питания;
- М – электродвигатель.

Производим выбор автоматических выключателей (ВА) для шкафа №2 в соответствии со следующей схемой (рисунок 3.18):

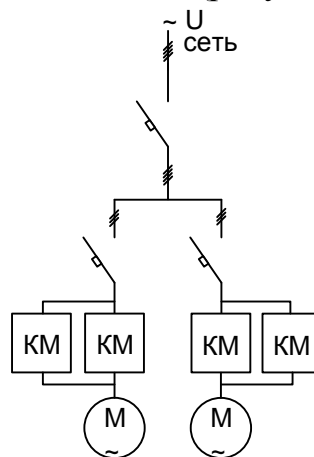


Рисунок 3.18 – Схема соединений автоматических выключателей шкафа №2.

Выбор ВА производим по методике, изложенной в [48].

Выбор ВА для защиты ПЧ и электродвигателя распределителя (рисунок 3.18).

При установке автоматических выключателей с тепловыми или комбинированными расцепителями в закрытом шкафу ток расцепителя должен быть:

$$I_{н.р.} \geq 1,15 I_{\max} = 1,15 \cdot 83,1 = 95,57 \text{ A}$$

Поскольку пусковой ток электрических двигателей в 5 – 7 раз превышает номинальное значение, то выбор автоматического выключателя производится с учетом этих токов. Определим пусковой ток электродвигателя распределителя АИР 200 L4:

$$I_{\text{ПУСК}} = I_n \cdot k_{\text{П}} = 83,1 \cdot 7,5 = 623,25 \text{ A.}$$

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{\text{э.р.}}$ должен быть не менее 1,25 пускового тока двигателя. Определим кратковременный ток:

$$I_{\text{КР}} = 1,25 \cdot I_{\text{ПУСК}} = 1,25 \cdot 623,25 = 779,1 \text{ A.}$$

Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{\text{э.р.}} \geq I_{\text{КР}}$$

Для защиты цепи двигателя от перегрузки, т. е. от повреждений, вызываемых длительным превышением величины тока, допустимой по нагреву, применяют тепловые расцепители. Для цепей с одиночным двигателем используют в основном автоматические выключатели с комбинированными расцепителями. Номинальный ток расцепителя определяется по формуле:

$$I_{н.р.} \geq \beta \cdot I_n = 1 \cdot 83,1 = 83,1 \text{ A.}$$

где β – коэффициент, принимаемый равным 1,2...1,25 при тяжелых условиях пуска и равным 1 при легких условиях пуска.

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 8, т.е.

$$I_{\text{ЭМ}} = 8 \cdot I_{н.р.} = 8 \cdot 100 = 800 \text{ A.}$$

Для защиты двигателя распределителя выбираем 3-полюсный СТИ 100 производства Danfoss на номинальный ток $I_{\text{Н}}=96 \text{ A}$.

Проверка по току короткого замыкания:

$$831 \text{ A} \geq 800 \text{ A} \geq 780 \text{ A.}$$

где $I_{\text{КЗ}} = 10 \cdot I_n = 10 \cdot 83,1 = 831 \text{ A}$.

Проверка по току теплового расцепителя. Характеристика теплового расцепителя по ГОСТ 3 50345-99 (температура настройки – 40⁰С):

$$113 \text{ A} > 83,1 \text{ A.}$$

Т.к. ток короткого замыкания больше тока электромагнитного расцепителя и ток теплового расцепителя больше номинально тока, следовательно, автоматический выключатель выбран правильно.

Стоимость: 277 руб.

Для остальных электроприемников ВА выбираем аналогично.

Для защиты двигателей МЭП (на рисунке 1 ПБР) выбираем 3-полюсный ВА 47-29 (характеристика С, уставка 5) на номинальный ток $I_n = 1,6 \text{ A}$.

Проверка по току короткого замыкания:

$$11,8 \text{ A} \geq 8 \text{ A} \geq 7,4 \text{ A}.$$

Проверка по току теплового расцепителя. Характеристика теплового расцепителя по ГОСТ 3 50345-99 (температура настройки – 30⁰С):

$$1,81\text{A} > 1,48\text{A}.$$

Т.к. ток короткого замыкания больше тока электромагнитного расцепителя и ток теплового расцепителя больше номинально тока, следовательно, автоматический выключатель выбран правильно.

Стоимость: 122,68 руб.

Для защиты ИП (рисунок 1) выбираем 2-полюсный ВА 47-29 (характеристика В, уставка 3) на номинальный ток $I_n = 1,6 \text{ A}$.

Проверка по току теплового расцепителя. Характеристика теплового расцепителя по ГОСТ 3 50345-99 (температура настройки – 30⁰С):

$$1,81\text{A} > 1,48\text{A}.$$

Т.к. ток теплового расцепителя больше номинально тока, следовательно, автоматический выключатель выбран правильно.

Стоимость: 43 руб.

Для защиты двигателей шихтовых затворов (на рисунке 2 КМ) выбираем 3-полюсный ВА 47-29 (характеристика С, уставка 5) на номинальный ток $I_n = 13 \text{ A}$.

Проверка по току короткого замыкания:

$$67\text{A} \geq 65\text{A} \geq 58,7 \text{ A}.$$

Проверка по току теплового расцепителя. Характеристика теплового расцепителя по ГОСТ 3 50345-99 (температура настройки – 30⁰С):

$$14,7\text{A} > 8,4\text{A}.$$

Т.к. ток короткого замыкания больше тока электромагнитного расцепителя и ток теплового расцепителя больше номинально тока, следовательно, автоматический выключатель выбран правильно.

Стоимость: 98 руб.

Для защиты группы электроприемников шкафа №1 вводной ВА рассчитываем следующим образом. Для цепей с группой двигателей используют в основном автоматические выключатели с электромагнитными расцепителями. При этом величина тока срабатывания расцепителей должна превышать максимальную величину кратковременного тока, который определяется суммой номинальных токов наибольшего количества включенных двигателей (приемников) при условии пуска двигателя с максимальным пусковым током (в соответствии с условиями работы оборудования одновременно запускаются двигатель распределителя и двигатель МЭП (РБП)):

$$I_{э.п.} \geq I_{KP}, \quad I_{н.п.} \geq I_{KP} = \sum_{i=1}^n I_n + I_{ПУСК\max} = (1,36 + 1,3) + 6 + 779,1 = 787,76 \text{ A.}$$

где I_{KP} – максимальный кратковременный ток, А; n – число всех электроприемников (двигателей).

Номинальный ток расцепителя определяется с учетом суммы номинальных токов все электроприемников:

$$I_{н.п.} \geq 1,15 I_{\max} = 1,15 \sum_{i=1}^n I_n = 1,15 \cdot (1,3 + 1,18 \cdot 2 + 83,1) = 99,57 \text{ A.}$$

Для защиты группы электроприемников выбираем 4-полюсный ВА 47-100 (характеристика С, уставка 10) на номинальный ток $I_n = 100 \text{ A}$.

Проверка по току короткого замыкания:

$$1000 \text{ A} \geq 788 \text{ A.}$$

Т.к. ток электромагнитного расцепителя больше пускового тока, следовательно, автоматический выключатель выбран правильно.

Стоимость: 441,73 руб.

Для защиты группы электроприемников шкафа №2 вводной автомат выбирается исходя из условия общего одновременного пуска двигателей. Рассчитаем суммарный пусковой ток:

$$I_{н.п.} \geq I_{KP} = 2 \cdot I_{ПУСК\max} = 2 \cdot 67 = 134 \text{ A.}$$

Выбираем 4-полюсный ВА 47-29 (характеристика С, уставка 5) на номинальный ток $I_n = 25 \text{ A}$.

Проверка по току короткого замыкания:

$$134 \text{ A} \geq 125 \text{ A} \geq 117,3 \text{ A.}$$

Т.к. ток электромагнитного расцепителя больше пускового тока, следовательно, автоматический выключатель выбран правильно.

Стоимость: 272,41 руб.

Выбор предохранителей производим для защиты цепи управления двигателями шихтовых затворов. Номинальный ток плавкой вставки для защиты ответвления, идущего к электроприемнику без пускового тока, выбирается по его номинальному току из соотношения:

$$I_{н.вс.} \geq I_{н.кат.} = \frac{P_{кат.}}{U_{сети}} = \frac{60}{220} = 0,3 \text{ А.}$$

где $P_{кат.}$ - мощность катушки цепи управления контактора.

Выбираем плавкие предохранители ВП 1-1, рабочий ток $I_H=0,5$ А стоимостью 2,50 руб. и держатели ДВП 4-1 стоимостью 12 руб.

Поставщик: ООО «РАДИОН-ЭК».[49]

3.3.5.3 Выбор кнопок

Выбор кнопок производим для включения системы управления (шкаф №1) и управления двигателями затворов (шкаф №2).

Выбираем кнопку управления «Грибок» LAY5-BS142 с быстросъемной головкой с фиксацией и возвратом в исходное положение при повороте ключа (рисунок 5.3) производства ИЕК. Стоимость: 146 руб. Кнопка останавливается на двери шкафа №1 в произвольном месте (Приложение Е).

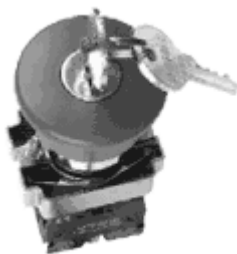


Рисунок 3.19 – Внешний вид кнопки «Грибок».

Также выбираем светосигнальную арматуру АМЕ с лампой накаливания КМ-24 зеленого цвета (рисунок 5.5) стоимостью 16 руб/шт.

Выбираем пост управления серии ПКЕ с тремя управляющими элементами и нишей для встройки ПКЕ 122-3У2 (рисунок 3.20). Габаритные размеры указаны в Приложение Ж.



Рисунок 3.20 – Внешний вид ПКЕ.

Поставщик: Фирма «СЕКОИН», стоимость 180,69 руб.[12]

Также выбираем светосигнальную арматуру АМЕ (рисунок 3.21) с лампой накаливания КМ-24 зеленого цвета (4 шт.) и красного цвета (2 шт.) стоимостью 16 руб/шт. (Поставщик – Фирма «СЕКОИН») и добавочное сопротивление на 2400 Ом С5-35В 25Вт (6 шт.) поставщик: ООО «Диод», стоимость: 38 руб/шт.[51]



Рисунок 3.21 – Внешний вид АМЕ.

3.3.5.4. Выбор источников питания

В качестве источников питания выбираем блоки питания компании Siemens серии LOGO!POWER =24 В/ 1.3 А, 30 Вт 6EP1331-1SH02. Поставщик: ООО «Энергостандарт» г.Москва по цене 60,18 Euro.

3.3.5.5 Выбор кабелей и проводов

Шкаф №2

Соединение оборудования в шкафу №2 производим одножильным проводом марки ПВ-1, имеющим однопроволочную и многопроволочную медную жилу с поливинилхлоридной изоляцией различного цвета. Выбираем провод с однопроволочной жилой сечением 1 мм² стоимостью 3,62

руб/м, рассчитанный на токи до 17 А, для подключения оборудования цепи управления, а также автоматических выключателей и контакторов.

Для питания двигателей шихтовых затворов и ввода сети выбираем кабели марки АВВГнг-ХЛ и ВВГнг-ХЛ. Кабели изготавливаются в трехжильном и четырехжильном исполнении, сечением от 1,5 до 240 кв.мм. Кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии в стационарных электротехнических установках на номинальное переменное напряжение до 1 кВ номинальной частотой 50 Гц. Кабели предназначены для одиночной и групповой прокладки в производственных помещениях. Не распространяют горение при прокладке в пучках, выполнены в холодостойком исполнении.

Ввод сети производим четырехжильным кабелем марки АВВГнг-ХЛ (кабели силовые с алюминиевыми жилами с изоляцией и оболочкой из хладостойкого ПВХ пластиката пониженной горючести) сечением жилы 2,5 мм². Стоимость: 42 руб/м.

Выбираем трехжильные кабели ВВГнг-ХЛ (тоже, только медные жилы) сечением 1,5 мм² для питания двигателей шихтовых затворов. Стоимость: 28 руб/м.

Для питания концевых выключателей используем кабель КГВВнг (кабель управления и контроля) сечение жилы 1 мм² стоимостью 11 руб/м. Кабели марки КГВВнг с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой предназначены для фиксированного монтажа силовых цепей, цепей управления.

Шкаф №1

Соединение оборудования в шкафу №1 производим одножильным проводом марки ПВ-1. Для цепи управления ПБР выбираем сечение жилы провода 0,5 мм² стоимостью 1,61 руб/м, для силовой цепи ПБР – 0,5 мм². Для питания ИП и модулей LOGO! выбираем провод сечением жилы 0,5 мм², питание шины производим проводом сечением жилы 16 мм² стоимостью 41,24 руб/м, питание ПЧ – сечением жилы 16 мм².

Цепи управления от модулей LOGO! соединяем проводом сечением 0,5 мм².

Ввод сети производим на вводной автомат четырехжильным кабелем марки АВВГнг-ХЛ сечением жилы 50 мм². Стоимость: 830 руб/м.

Выбираем трехжильные кабели ВВГнг-ХЛ сечением 25 мм² для питания двигателя распределителя, 1,5 мм² – двигателей клапанов. Стоимость: 366 руб/м и 28 руб/м соответственно.

Выбираем КУГВВЭ (кабель управления и контроля) для питания датчиков уровня сечением жилы $0,35 \text{ мм}^2$ стоимостью 6,82 руб/м. Кабели предназначены для фиксированного монтажа цепей управления и контроля, работающих при напряжении до 380 В переменного тока частоты 50 Гц или 500 В постоянного тока.

Выбираем КГВВнг (кабель управления и контроля) сечением жилы $0,5 \text{ мм}^2$ стоимостью 9,4 руб/м для питания концевых выключателей МЭП и допконтактов контакторов силовой цепи двигателей шихтовых затворов. Кабели марки КГВВнг с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой предназначены для фиксированного монтажа силовых цепей, цепей управления.

Производитель: ОАО «Завод «Севкабель».[52]

Поставщик: интернет-магазин «Электропортал», партнер: ООО «Рос-сальянс Сервис», г. Новосибирск.[45]

3.3.5.6 Выбор шины

Выбор шин производим для шкафа №1.

Выбираем блок шин BRT115A 3 полюса 115А, 3 шины по 7 присоединений производства АВВ стоимостью 2087 руб. в качестве силовой вводной шины для питания шкафа №1.

Шина земля РЕ 8 на 8 присоединений никелированная латунь 150 А стоимостью 36,23 руб. Изготовитель: ООО «ВРК».

Габаритные размеры шин указаны в Приложение 3.

Поставщик: ЗАО «МПО Электромонтаж».[53]

3.3.5.7 Выбор клемм

Шкаф №2

Выбираем переходные клеммы Wago для установки на DIN-рельс на 4 провода Wago 264-731 стоимостью 39,40 руб./шт. и на 2 провода Wago 264-711 стоимостью 26,58 руб./шт. для подключения кабеля ВВГнг-ХЛ (по 2 шт.) и кабеля АВВГнг-ХЛ (по 1 шт.), на 4 провода Wago 264-731 (4 шт.) для подключения кабеля КГВВнг.

Шкаф №1

Выбираем переходные клеммы Wago 285-150 для установки на DIN-рельс стоимостью 529,03 руб./шт. для подключения кабеля АВВГнг-ХЛ (4 шт.); Wago 285-135 стоимостью 243,64 руб./шт. для подключения кабеля

ВВГнг-ХЛ (3 шт.). Подключения остального кабеля производится клеммами Wago 264-731 и Wago 264-711.

Также для присоединения питающих и нулевых проводов цепи управления выбираем зажим безвинтовой Wago 773-328 стоимостью 8,43 руб/шт и зажим безвинтовой Wago 773-324 стоимостью 4,98 руб/шт соответственно.

Габаритные размеры клемм WAGO указаны в Приложение И.

Изготовитель: «WAGO Kontakttechnik GmbH», Германия.

Поставщик: ЗАО «МПО Электромонтаж» [53]

3.3.5.8 Выбор сальников (гермовводов, коннекторов) и DIN-реек

Выбираем DIN-рейки 10101 7,5x35x300мм металлическую стоимостью 10,60 руб/шт. и коннекторы кабельные PG. Поставщик: Группа компаний «ЭЛЕКТРОПРОДУКТЪ»[54]

Шкаф №2

Предназначены для ввода проводов и кабелей в электрощитовое оборудование с целью защиты проводников от механического повреждения и защиты самой сборки от проникновения пыли и влаги в месте ввода.

Выбираем для вводного кабеля АВВГнг-ХЛ 3х2,5(ож)-0,66 (наружный диаметр кабеля 10,6 мм (данные ООО «СКК» [55]) коннектор кабельный PG11-N, стоимость: 7,03 руб/шт.

Выбираем для кабеля питающего двигатель шихтового затвора ВВГнг-ХЛ 3х1,5(ож)-0,66 (наружный диаметр кабеля 7,2 мм) коннектор кабельный PG9 (2 шт.), стоимость: 5,92 руб/шт.

Выбираем для кабеля питающего концевые выключатели КГВВнг 2х1,0 (наружный диаметр кабеля 7,0 мм (данные [55])) коннектор кабельный PG7 (4 шт.), стоимость: 4,81 руб/шт.

Шкаф №1

Выбираем для вводного кабеля АВВГнг-ХЛ 4х50(ож)-0,66 (наружный диаметр кабеля 40,4 мм (данные ЗАО «РосКабельСвязь» [56])) коннектор кабельный PG48, стоимость: 63 руб/шт.

Выбираем для кабеля питающего двигатель распределителя ВВГнг-ХЛ 3х25(ож)-0,66 (наружный диаметр кабеля 19,2 мм) коннектор кабельный PG29, стоимость: 24,08 руб/шт.

Выбираем для кабеля питающего двигатель МЭП ВВГнг-ХЛ 3х1,5(ож)-0,66 (наружный диаметр кабеля 7,2 мм) коннектор кабельный PG9 (2 шт.), стоимость: 5,92 руб/шт.

Выбираем для кабеля питающего датчик уровня КУГВВЭ 2х0,35 (наружный диаметр кабеля 6,7 мм (данные [55])) коннектор кабельный PG7 (2 шт.), стоимость: 4,81 руб/шт.

Выбираем для кабеля питающего концевые выключатели МЭП и доп-контакты контакторов силовой цепи двигателей шихтовых затворов КГВВнг 2х0,5 (наружный диаметр кабеля 6,7 мм (данные [55])) коннектор кабельный PG7 (8 шт.), стоимость: 4,81 руб/шт.

3.3.6 Выбор и компоновка шкафа электроавтоматики

Выбор шкафов производим исходя из компоновки оборудования. Степень защиты шкафов должна быть пригодна для работы в пыльной и влажной среде.

Выбираем шкаф электротехнический навесной с монтажной панелью, производителя «ЦМО». Шкафы предназначены для учета и распределения электроэнергии в коммерческих и жилых сооружениях. Имеют современный дизайн, надежную конструкцию и уровень защиты IP 55.

Корпус шкафа выполнен из металла, имеет сварную конструкцию. Дверь фиксируется точечным замком, в шкафах большого размера устанавливается два замка. Внутри корпуса установлена съемная монтажная панель. В нижней части предусмотрены кабельные вводы.

Покрытие порошково-полимерное – RAL 7035. Шкафы поставляются в собранном виде.

Поставщик: ЗАО «Радиокомплект-компьютер», г. Москва. Выбранные шкафы и их стоимость приведены в таблице 3.8. [57]

Таблица 3.8

обозначение	тип	Размер (ВхШхГ), мм	Стоимость, руб
Шкаф №1 (А)	ШЭН	1050х900х300	7537,70
Шкаф №2 (В)	JXF-4030/200	400х300х200	1450

Примечание: в скобках обозначение шкафов приведено в соответствии с приложением.

Компоновка оборудования в шкафах представлена в Приложении.

Прокладку кабелей до электрооборудования производим по стенам в металорукове типа РЗ-ЦХ производства ИЭК крепим на скобы металлические одно-двулапковые стоимостью 5 руб/шт. Поставщик: интернет-

магазин «Электропортал», партнер: ООО «Россальянс Сервис», г. Новосибирск.[45]

Для шкафа №1 выбираем метеллорукав РЗ-ЦХ 22 15 внутренним диаметром 21 мм, стоимость: 40 руб/м для прокладки выходящего кабеля на двигатель распределителя; метеллорукав РЗ-ЦХ 18 15 (2 шт.) внутренним диаметром 17 мм, стоимость: 33 руб/м для прокладки выходящего кабеля на двигателя МЭП и допконтакты контакторов силовой цепи двигателей шихтовых затворов; метеллорукав РЗ-ЦХ 15 20 внутренним диаметром 15 мм, стоимость: 29 руб/м для прокладки выходящего кабеля на датчики уровня и метеллорукав РЗ-ЦХ 50 15 внутренним диаметром 46 мм, стоимость: 88 руб/м для прокладки вводного кабеля.

Для шкафа №2 выбираем метеллорукав РЗ-ЦХ 32 35 внутренним диаметром 30 мм, стоимость: 61руб/м для прокладки выходящих кабелей и метеллорукав РЗ-ЦХ 15 100 внутренним диаметром 15 мм, стоимость: 27руб/м для прокладки вводного кабеля.

Ввод силового кабеля сети в шкафы осуществляем со дна справа. Вывод кабелей и проводов также осуществляется со дна шкафа.

Для монтажа и укладки проводов используется кабель-канал перфорированный размерами 40x40, стоимость – 75 руб/м и 20x25, стоимость – 56 руб/м, 25x40 – 63 руб/м, поставщик: ООО "Электрополе".[58]

3.3.7 Выбор и обоснование контроллера из линейки Siemens Logo

В соответствии с выбранным оборудованием цепи управления, которое питается и управляется напряжением

Логические модули LOGO! – это универсальные программируемые модули, предназначенные для построения простейших устройств автоматического управления. Они могут использоваться автономно или дополняться необходимым набором модулей расширения. Компактные размеры, относительно низкая стоимость, простота программирования, монтажа и эксплуатации позволяют получать на основе модулей LOGO! множество рентабельных решений для различных областей промышленного производства и автоматизации зданий.

Логические модули LOGO! выпускаются в пластиковых корпусах размерами 72x90x55 мм и имеют степень защиты IP 20. Каждый модуль оснащен:

- Памятью программ, рассчитанной на использование до 200 встроенных функций на программу.

- Клеммами для подключения цепей питания, входных и выходных цепей.

- Интерфейсом:

- для установки опционального модуля памяти, модуля буферной батареи, комбинированного модуля памяти/ батареи или

- подключения к компьютеру с программным обеспечением LOGO!SoftComfort через соединительный кабель LOGO! USB PC или

- подключения к аналоговому модему через модемный кабель и организации связи с удаленным компьютером, оснащенный программным обеспечением LOGO! SoftComfort.

- Интерфейсом внутренней шины для подключения модулей расширения.

- Интерфейсом подключения внешнего текстового дисплея LOGO! TD (только в модификациях ... 0BA6).

- Кодировочными пазами, исключающими возможность подключения модулей расширения, которые не допускается подключать к данному логическому модулю.

Дополнительно в модулях LOGO! Basic:

- клавиатура для программирования и оперативного управления работой модуля;

- дисплей, используемый для программирования модуля и отображения сообщений в процессе его работы.

Все модули LOGO! монтируются на 35 мм профильную шину DIN или на плоскую поверхность. Объединение логических модулей и модулей расширения в единое устройство осуществляется через внутреннюю шину.

Внешние цепи монтируются проводами 1x2.5 мм² или 2x1.5 мм².

В зависимости от модификации напряжение питания логического модуля может составлять =12/ 24/ 115/ 230 В или ~24/115/ 230 В. Напряжением питания модуля определяется и напряжение питания его входных цепей (исключая аналоговые входы). Все логические модули оснащены 8 входными и 4 выходными дискретными каналами.

Для автоматизации техпроцесса необходимо запитать оборудование цепи управления постоянным напряжением величиной 24 В. Также иметь в наличии дискретные входы/выходы с постоянным напряжением питания 24 В на ток превосходящий максимальный в цепи управления величиной 200 мА, в количестве входов – 11 шт., выходов – 6 шт. (см. Приложение).

Из линейки логических модулей LOGO! Basic выбираем логический модуль LOGO! 24 RC. Модуль обладает следующими техническими данными, представленными в таблице 3.9.

Таблица 3.9

Напряжение питания/входное напряжение, В	~24/= 24
Дискретные входы	
Количество (группы)/ тип	8 (1x8)/ Общий плюс или минус для всех входов
Входное напряжение:	
<ul style="list-style-type: none"> • низкого уровня, не более • высокого уровня, не менее 	~5/= 5 ~12/= 12
Дискретные выходы	
Количество (группы)/тип	4 (4x1)/замыкающие контакты реле
Импульсный ток выхода, А	30
Длительно допустимый ток выхода, А	10

Логический модуль LOGO! 24 RC полностью удовлетворяет требованиям для управления выбранным оборудованием, а также обладает сравнительно меньшей стоимостью по линейке Siemens LOGO! из-за отсутствия многофункциональных входов.

Для реализации управления процессом в соответствии с таблицей 3.9 необходимо дополнить логический модуль LOGO! 24 RC модулем дискретного ввода/вывода, имеющем минимум два выходных и три входных канала. Выбираем модуль расширения ввода/вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 24R, имеющем по 4 дискретных входа и выхода.

Модули LOGO! DM позволяют увеличивать количество дискретных входов и выходов, обслуживаемых одним логическим модулем LOGO!. Общее количество подключаемых модулей LOGO! DM ограничивается максимальной конфигурацией логического модуля: 24 дискретных входа, 16 дискретных выходов.

Технические данные представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10

Напряжение питания/входное напряжение, В	~24/= 24
Дискретные входы	
Количество (группы)/ тип	4 (1x4)/ нет гальванического разделения между входами
Входное напряжение: <ul style="list-style-type: none"> • низкого уровня, не более, В • высокого уровня, не менее, В 	~5/= 5 ~12/= 12
Дискретные выходы	
Количество (группы)/тип	4 (4x1)/замыкающие контакты реле
Импульсный ток выхода, А	30
Длительно допустимый ток выхода, А	5

Поставщик: ООО «ПромСпецРеле» [59].

LOGO! 24 RC - стоимость: 135,7 Евро

LOGO! DM8 24R – стоимость: 74,4 Евро

3.3.8 Разработка алгоритма функционирования системы управления

Алгоритм функционирования системы управления представлен на рисунке 3.22. Начальные условия работы системы управления следующие:

- оба клапана должны быть закрыты;
- в загрузочной воронке находится материал и не переполняет ее;
- при этом с затворами не производится работа.

Далее система управления открывает верхний клапан включением двигателя М3. При этом расположенные на механизме МЭП концевые выключатели, изменяя свое состояние, сигнализируют системе управления о полном открытии верхнего клапана, и система отключает двигатель М3. Далее происходит загрузка промежуточного бункера до момента, пока не сработает нижний датчик уровня, который сигнализирует системе управления об опорожнении загрузочной воронки. После этого система закрывает верхний клапан до момента, пока сигналы с тех же концевых выключателей не изменят свое состояние на первоначальное, и запускает двигатель распределителя. После разгона двигателя система открывает нижний клапан (М5) по алгоритму, изложенному выше для верхнего клапана. Система управления формирует сигнал на электропривод распределителя, который в свою очередь вращает механизм распределителя с заданной скоростью. По прошествии 25 секунд система управления формирует второй сигнал на электропривод распределителя для вращения распределителя на второй заданной скорости в течение 25 секунд. После чего система отключает привод и закрывает нижний клапан. Далее при наличии материала в загрузочной воронке и не переполнении ее цикл работы системы управления повторяется.

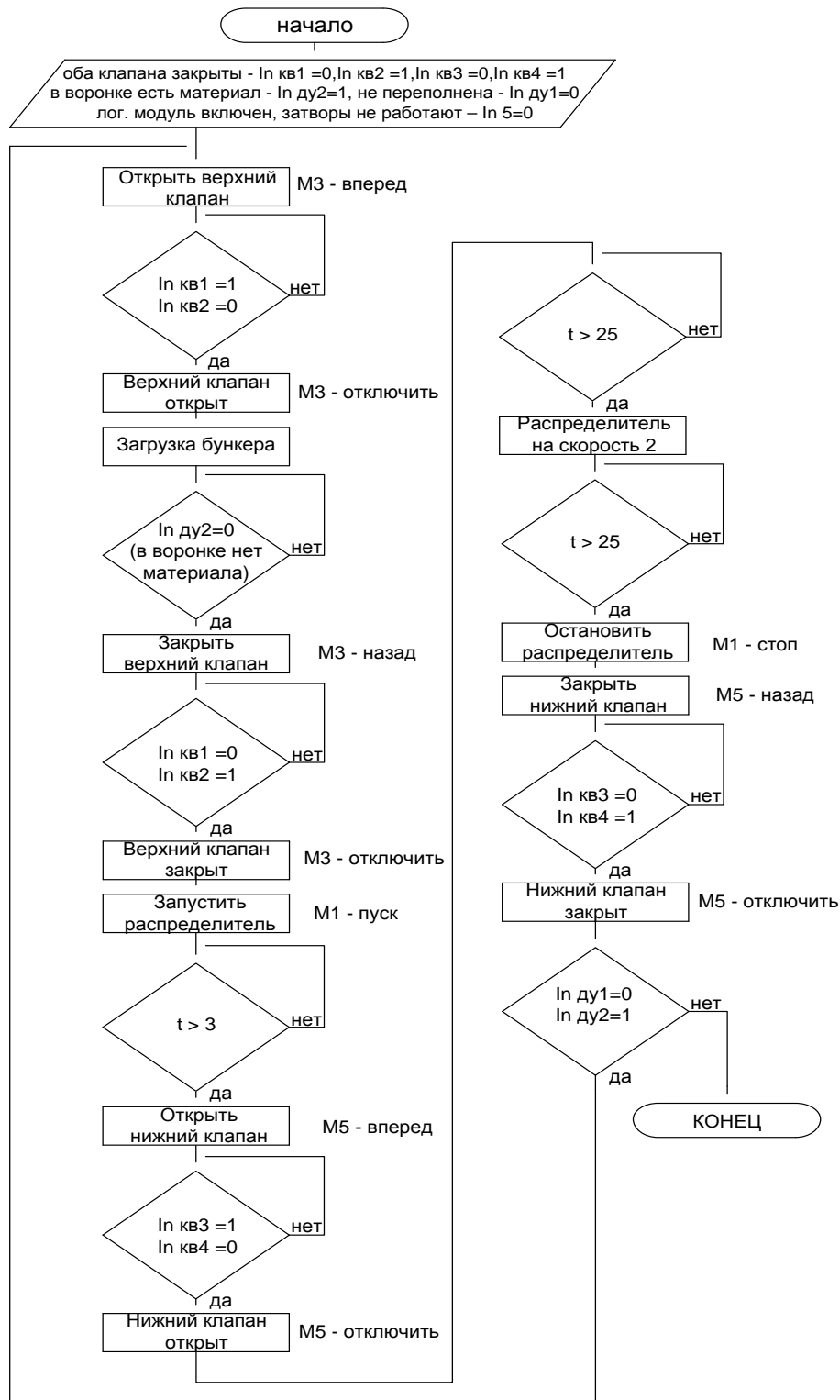


Рисунок 3.22 – Алгоритм функционирования системы управления.

3.3.9 Разработка и моделирование программного обеспечения в Logo!Soft Comfort v6.0

Контроллер включается при подаче сигнала на вход I7. Начальными условиями запуска технологического процесса являются сигналы верхнего уровня на входы: I5 (есть материал в загрузочной воронке), I7 (контроллер включен); сигналы низкого уровня I8-I11 (сигнализация работы шихтовых затворов) и противоположные сигналы с концевых выключателей низкого уровня на II, верхнего уровня на I2 (верхний клапан закрыт) и низкого уровня на I3, верхнего уровня на I4 (нижний клапан закрыт) (рисунок 3.23). Работа шихтовых затворов осуществляется только при наладке оборудования. При соблюдении выше изложенных условий с некоторой задержкой по времени на сигнал о наличии материала (элемент B015 – наладка процесса на программном уровне) на выходе логического элемента И (B001) формируется сигнал верхнего уровня (логическая 1), который, поступая на вход S RS-триггера (B006), подает сигнал верхнего уровня на выход Q1 (открыть верхний клапан) (рисунок 3.24). Условие полного открытия верхнего клапана – смена логических значений сигналов на входах II, I2. При этом логический ноль на входе I2 формирует логический ноль на выход Q1 и логическую единицу на входе S RS-триггера (B003). Когда весь материал пересыпан из загрузочной воронки в промежуточный бункер на входе I5 формируется сигнал низкого уровня на вход R элемента B003. Следовательно, на вход Q2 (закрыть верхний клапан) поступает логическая единица от элемента B003 (рисунок 3.25). Верхний клапан закрыт – на входе II логический ноль на входе I2 логическая единица. На входы логического элемента И (B008) поступают сигналы верхнего уровня от B003 и низкого уровня на инверсный вход I1. B008 формирует логическую единицу на вход S RS-триггера (B009), который устанавливает ее эквивалент на выходе Q3 (запуск двигателя распределителя). Единица на выходе Q3 выключает B003, подавая сигнал на вход R, при этом препятствуя повторному появлению единицы на выходе B008 при аварийной ситуации – нет материала в загрузочной воронке при повторной загрузке (рисунок 3.27). Далее спустя некоторое время после формирования единицы на Q3 (разгон двигателя распределителя, первая скорость) элемент B002 устанавливает логическую единицу на входе S RS-триггера (B010), который передает сигнал на вход Q4 (открыть нижний клапан) (рисунок 3.28). Далее сигнал с I3 переходит в единицу, а после открытия нижнего клапана I4 переходит в ноль, формируя на Q4 логический ноль. На выходе элемента И

(V004) логический ноль, что препятствует открытию верхнего клапана. При этом с элементе И (V020) логическая единица поступает на вход S RS-триггера (V019), включая элемент V011, осуществляющий задержку сигнала на вход Q5 (вторая скорость) (рисунок 3.29). По истечении времени работы на второй ступени элемент V014 формирует сигнал логической единицы на вход R V009 и V019, переводя сигнал на входы Q3 и Q5 в логический ноль, и на вход S элемента V013, формируя на выходе Q6 (закрывать нижний клапан) единицу. Сигнал логической единицы на выходе Q6 повторно препятствует формированию на входе Q3 логической единицы (рисунок 3.30). Далее сигнал с I4 переходит в единицу, а после закрытия нижнего клапана I3 переходит в ноль. На выходе Q6 формируется логический ноль, отключая двигатель верхнего клапана (рисунок 3.31).

Далее процесс циклично повторяется выше описанным способом. Цикличность техпроцесса может быть прервана, если в процессе работы контроллера на входе I6 устанавливается логическая единица (загрузочная воронка переполнена), которая препятствует формированию логической единицы на выходе V001, и если в процессе работы контроллера на входе I7 устанавливается логический ноль (загрузочная воронка пуста), который также препятствует формированию единицы на выходе V001 (открытие верхнего клапана) (рисунок 3.31).

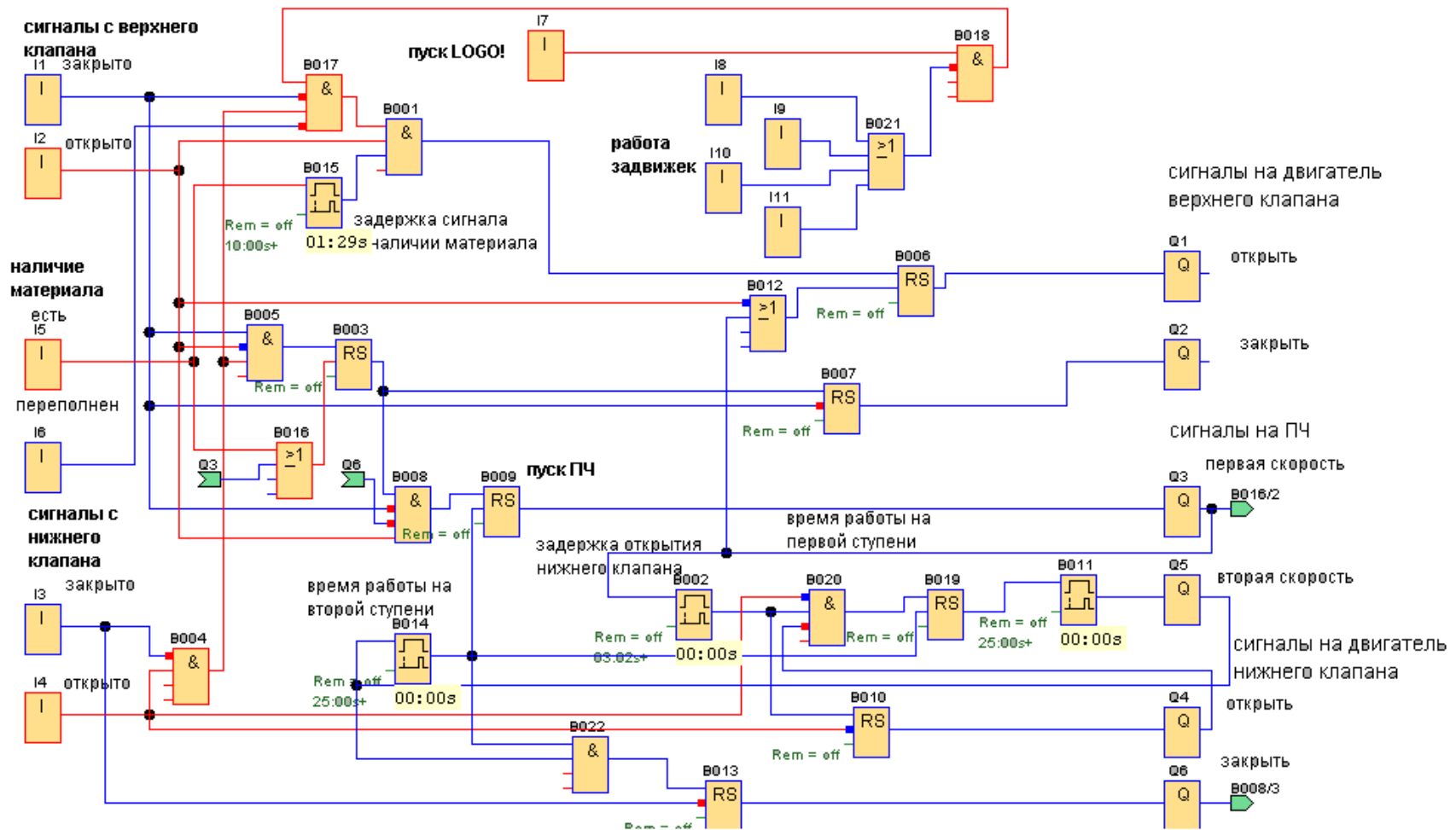


Рисунок 3.23 – Рабочее окно LOGO!Soft Comfort V6.0.в положении нижний клапан закрыт

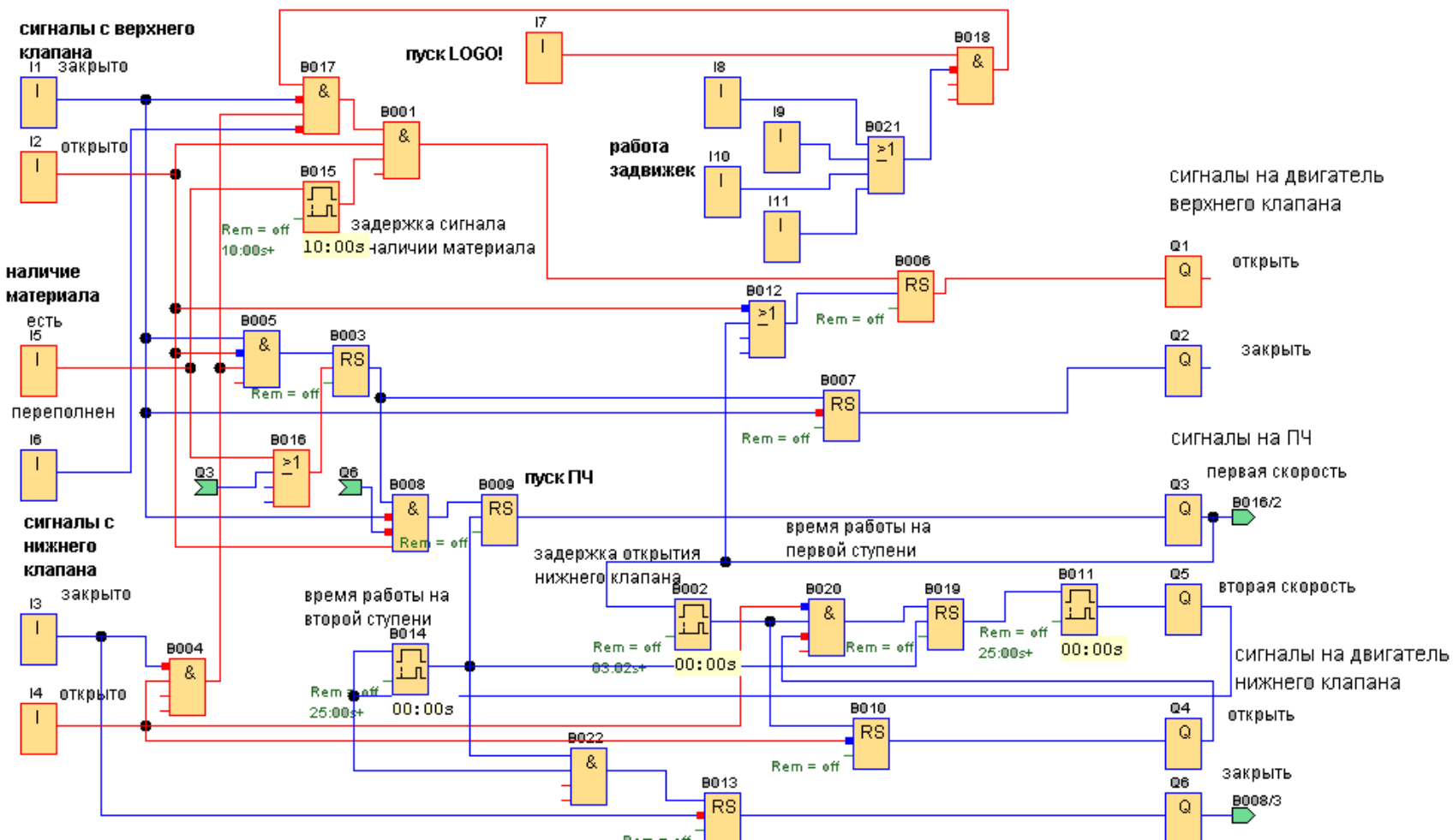


Рисунок 3.24 – Рабочее окно LOGO!Soft Comfort V6.0.в положении открыть верхний клапан

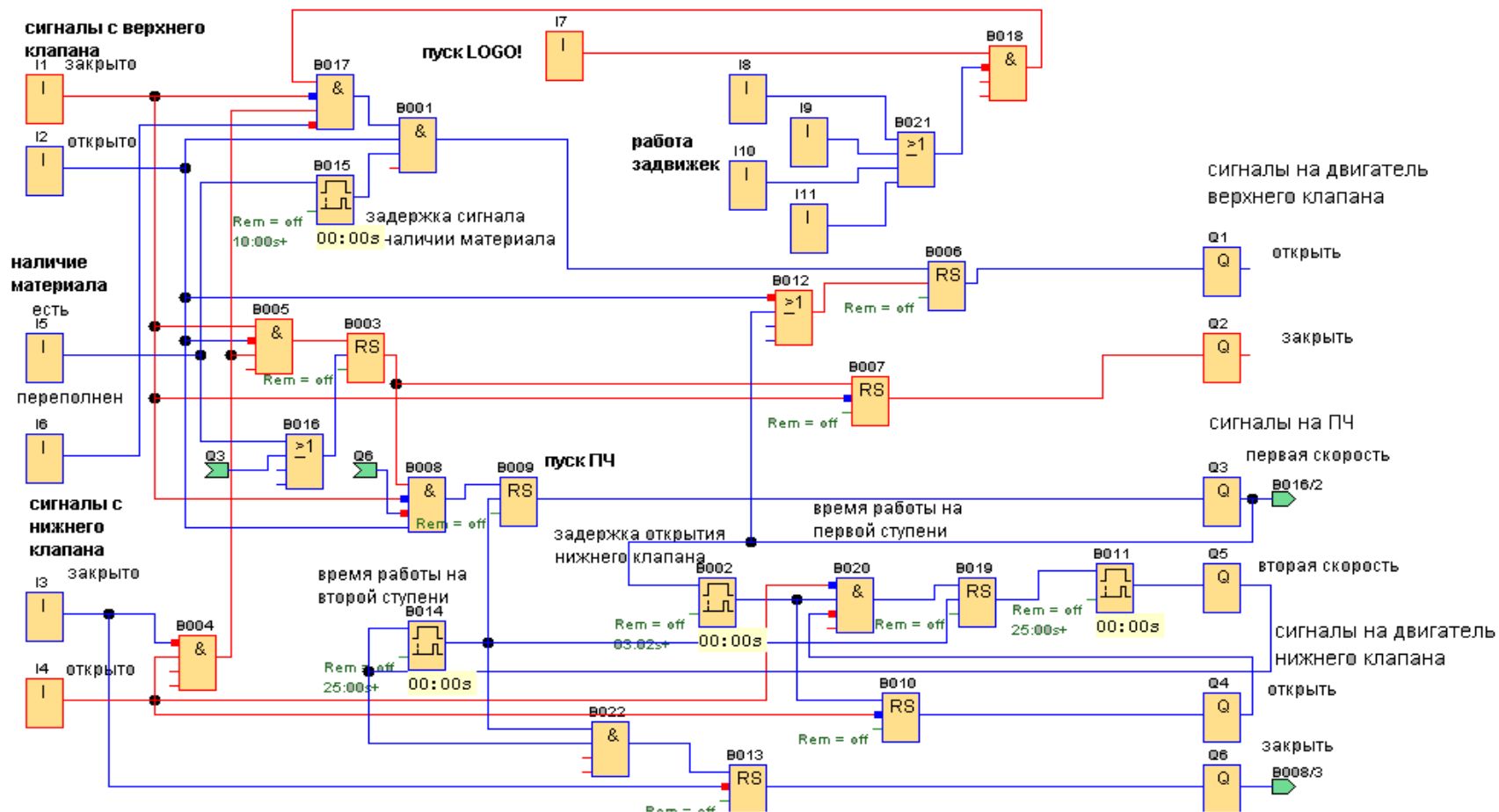


Рисунок 3.25 – Рабочее окно LOGO!Soft Comfort V6.0.в положении закрыть верхний клапан

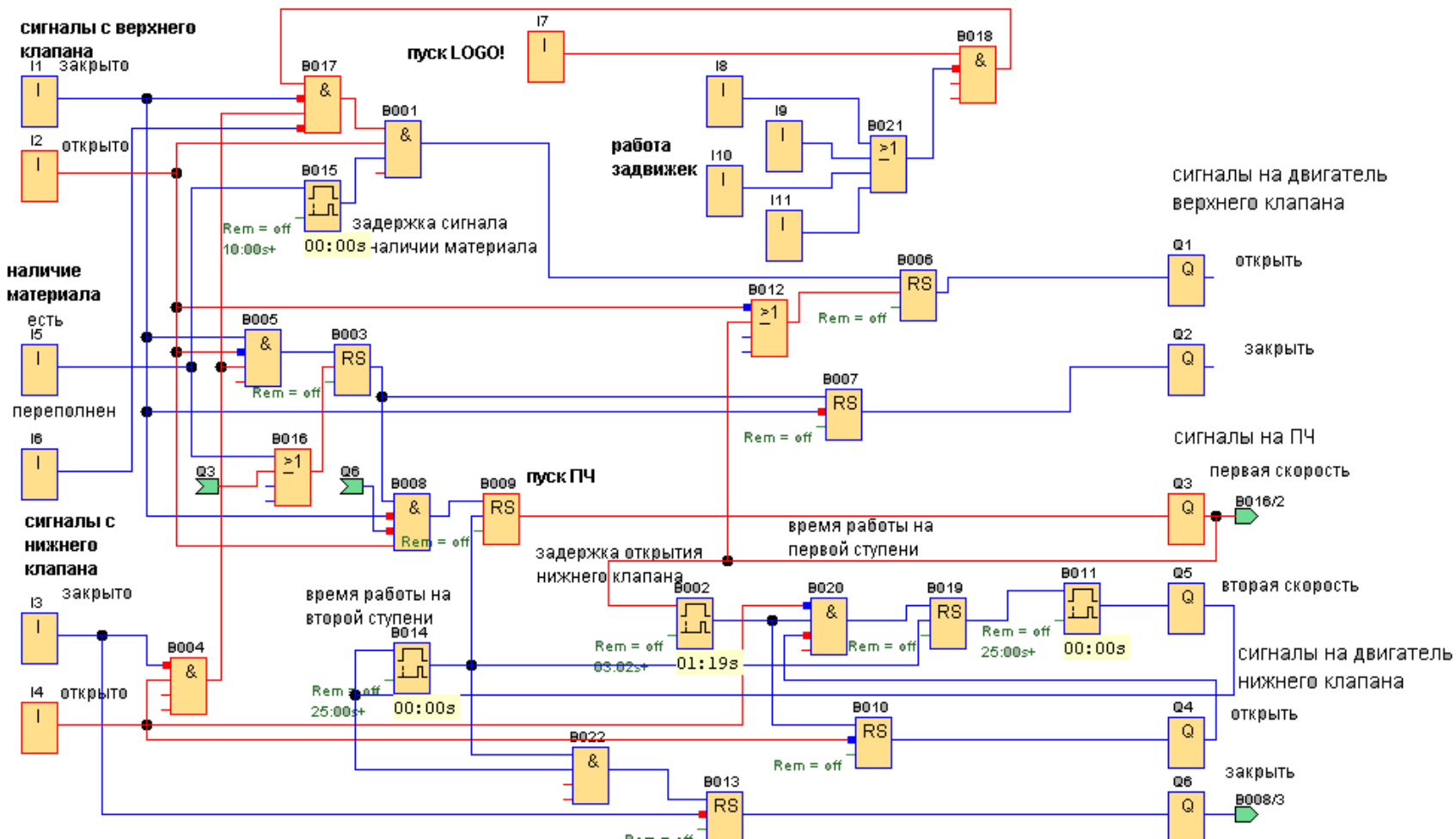


Рисунок 3.27 – Рабочее окно LOGO!Soft Comfort V6.0

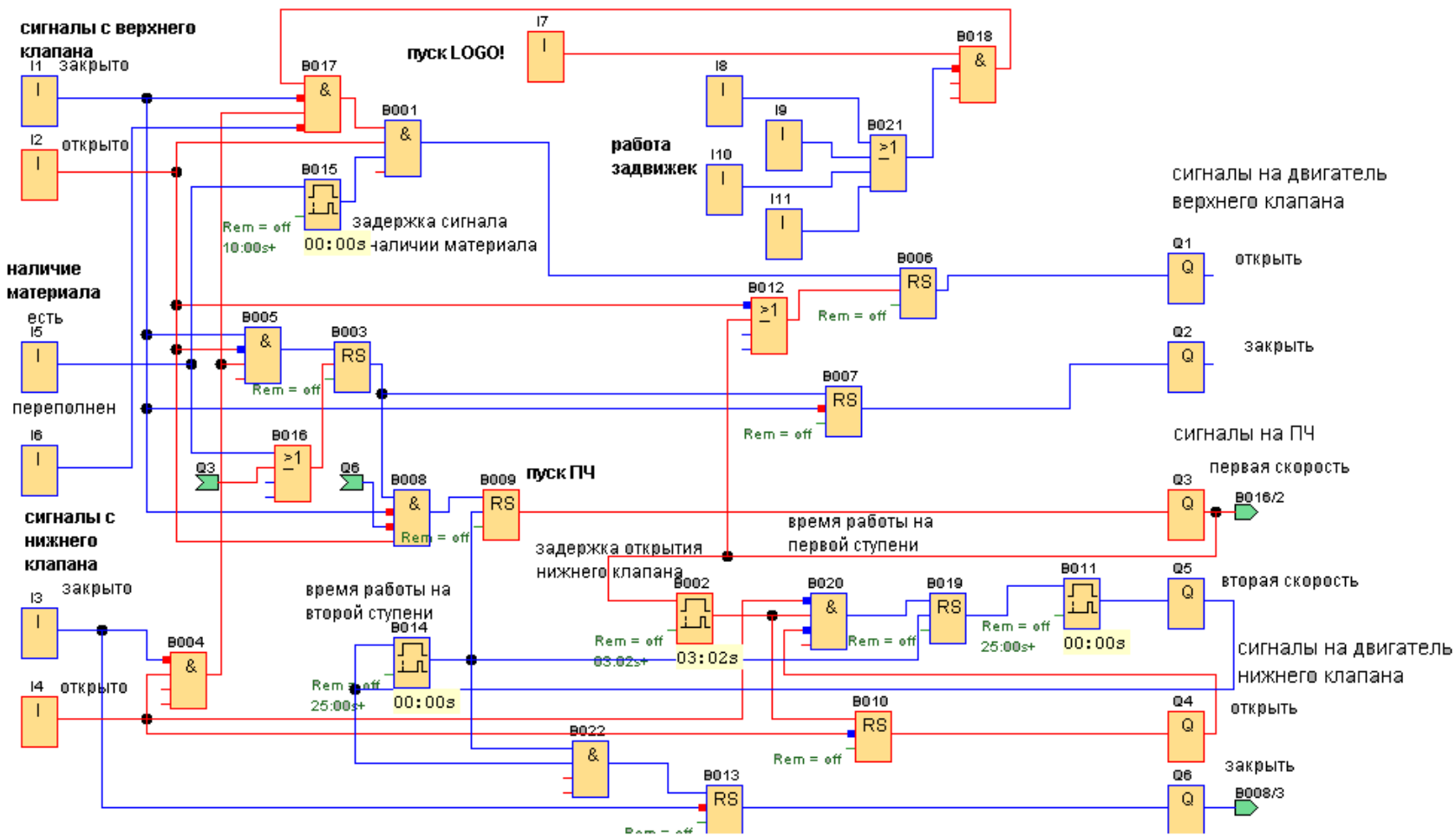


Рисунок 3.28 – Рабочее окно LOGO!Soft Comfort V6.0 в положении открыть нижний клапан

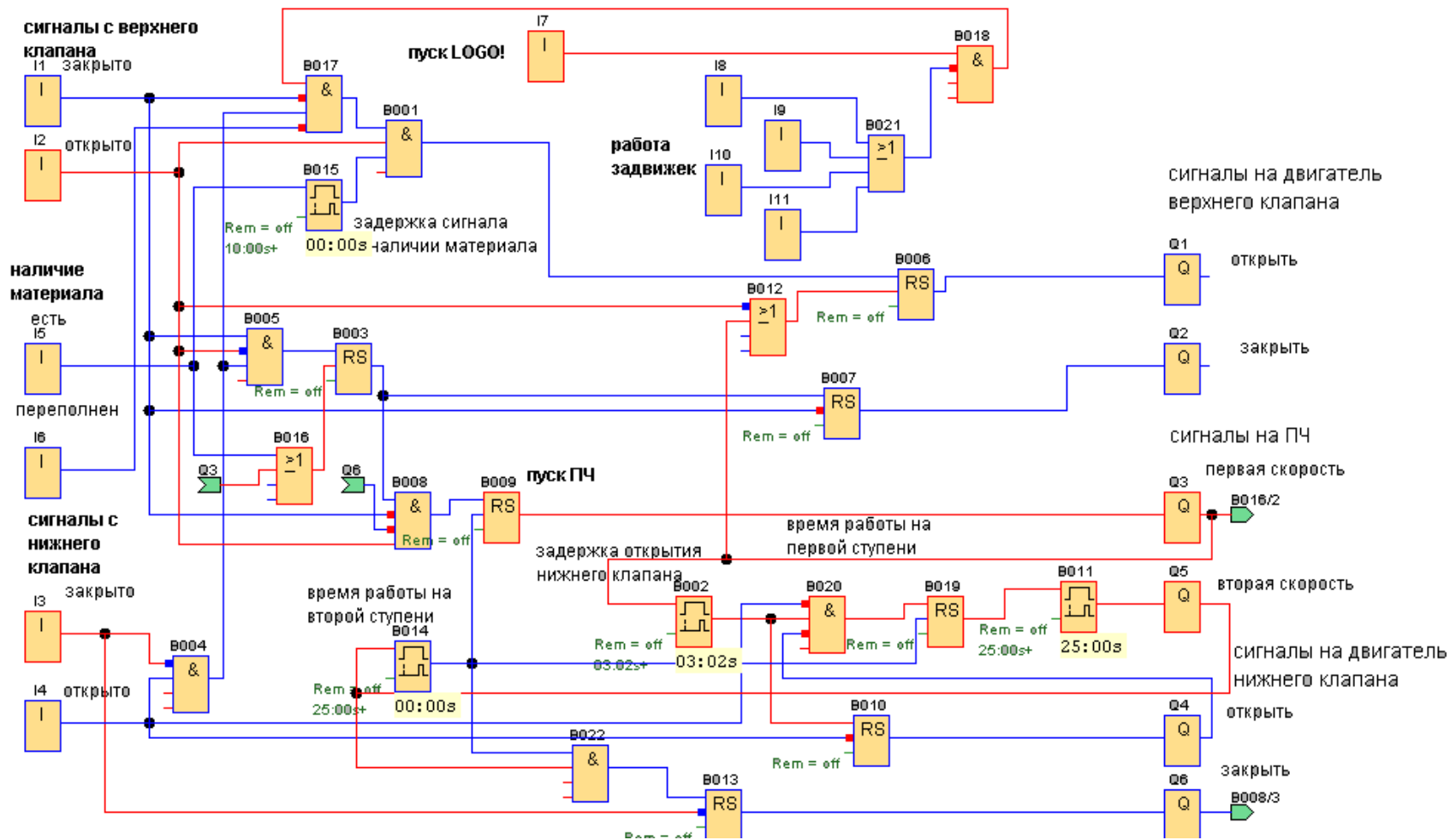


Рисунок 3.29 – Рабочее окно LOGO!Soft Comfort V6.0.в положении вторая скорость

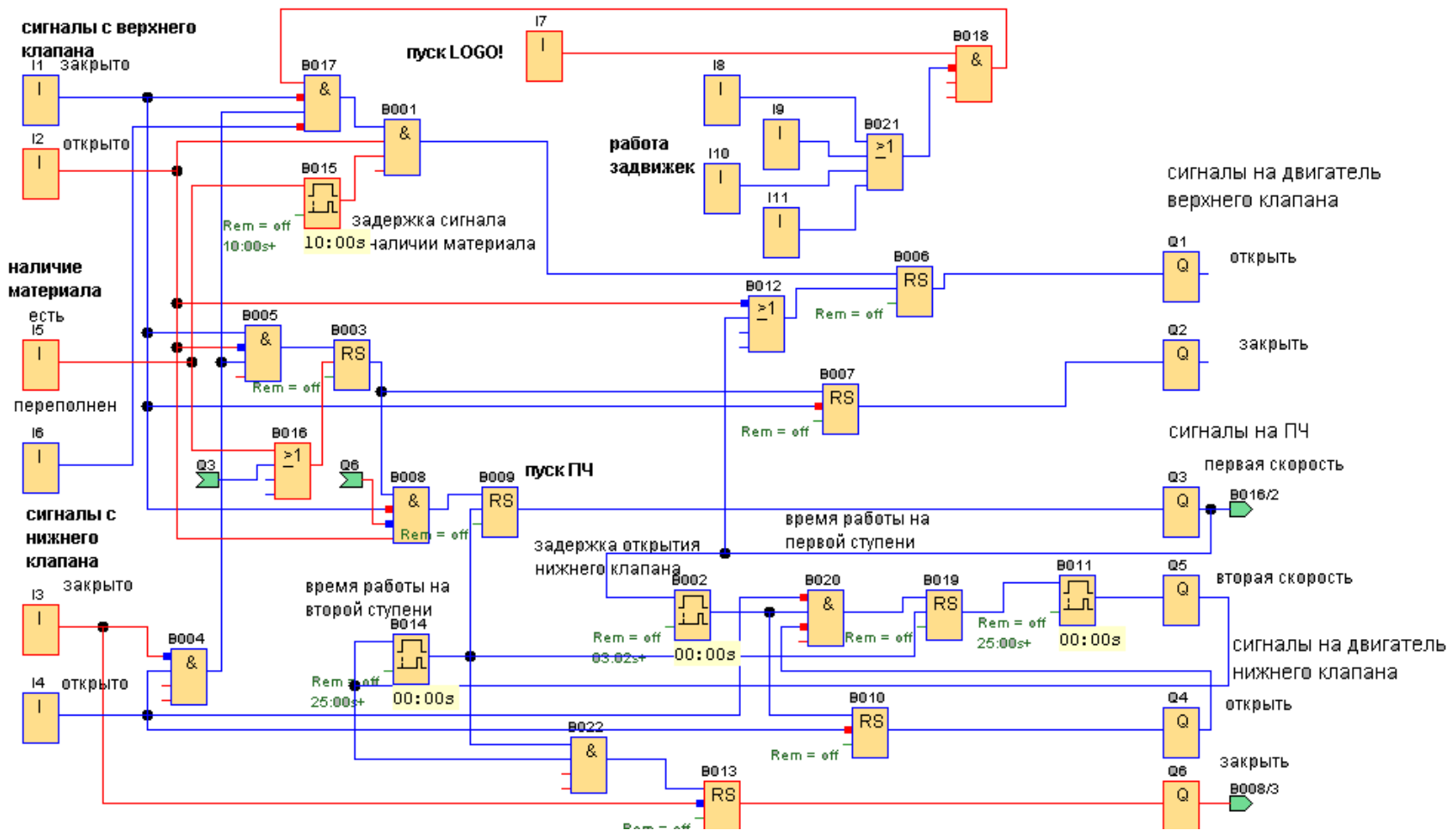


Рисунок 3.30 – Рабочее окно LOGO!Soft Comfort V6.0.в положении закрыть нижний клапан

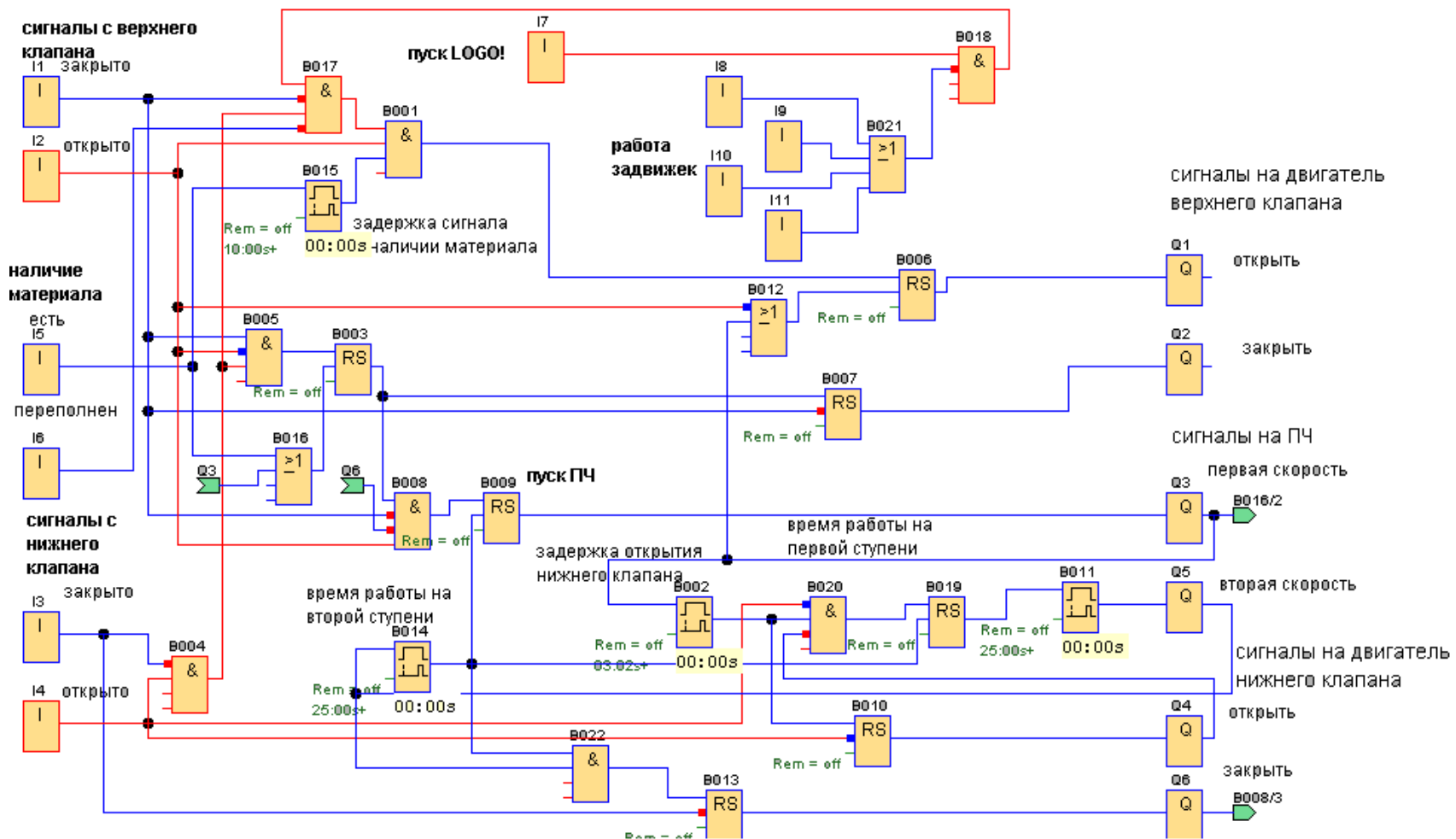


Рисунок 3.31 – Рабочее окно LOGO!Soft Comfort V6.0.в положении отключить двигатель верхнего клапана

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

МЭП-25000/16-160-97

Перемещение регулирующих органов в системах автоматического регулирования ТП в соответствии с командными сигналами автоматических регулирующих и управляющих устройств.

Номинальное усилие на выходном органе, Н – 25000.

Номинальное время полного хода выходного органа, с – 16.

Номинальный полный ход выходного органа, мм – 160.

Технические характеристики:

– Питание трехфазная сеть 380/400/415В, 50Гц; или 380В, 60Гц.

– Потребляемая мощность 545Вт.

– Тип двигателя АИР63В4 (380В); ПБР-3А, ФЦ-0620.

Режим работы:

– Исполнение климатическое: УХЛ2; Т2; пылевлагозащищенное: IP65.

– Условия эксплуатации -30...+50°C.

– Конструкция устанавливается непосредственно на регулирующей арматуре.

Состав индуктивный или реостатный или токовый датчик положения выходного органа; ограничитель наибольшего усилия на закрытие регулирующего органа; два выключателя для сигнализации промежуточных положений и два выключателя для ограничения крайних положений выходного органа; устройство ограничения наибольшего усилия на выходном органе

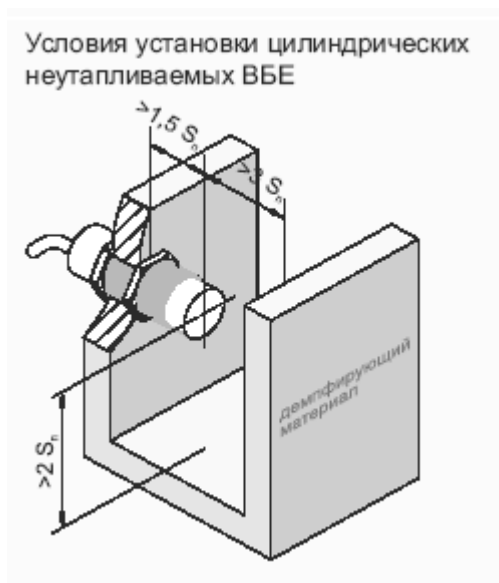
Габаритные размеры, мм – 405x330x600.

Масса, кг – 82

Бесконтактный емкостный выключатель ВБЕ

Монтаж, настройка, эксплуатация ВБЕ

При проектировании размещения ВБЕ неутапливаемого исполнения следует учитывать минимально допустимые стандартом расстояния до окружающих элементов конструкций из металла. Для ВБЕ, имеющих фланцевый корпус, перед активной поверхностью также требуется зона, свободная от демпфирующего материала (металла) на расстоянии, равном $3S_n$. На практике допустимо размещение ВБЕ с меньшими расстояниями до металла, при этом необходимо уменьшить его чувствительность. При монтаже и эксплуатации производится настройка срабатывания ВБЕ с помощью встроенного многооборотного потенциометра регулировки чувствительности. Следует иметь в виду, что при этом изменяется не только S_n , но и H . Все производимые предприятием емкостные бесконтактные выключатели имеют встроенную индикацию состояния выхода, которая позволяет при эксплуатации оперативно проверить срабатывание бесконтактного выключателя. Ниже приведена таблица индикации состояния ВБ.



Продолжение приложения Б

Регулировка чувствительности ВБЕ

При контроле уровня в резервуарах из диэлектрика датчик может быть установлен снаружи.

В резервуаре из металла датчик может устанавливаться за люком в стенке. Люк делается на уровне контроля и закрывается пластиной из диэлектрика (стекло, оргстекло, фторопласт). Регулировка чувствительности датчика в этих случаях следующая:

1. Подключив и зафиксировав датчик так, что чувствительная поверхность касалась диэлектрика по светодиоду определяем состояние датчика без наличия за стенкой резервуара объекта воздействия (контролируемого материала). Если датчик сработал от стенки или пластины, то, поворачивая потенциометр регулировки против часовой стрелки, уменьшаем чувствительность так, чтобы он не срабатывал. Датчик ВБЕ-М30 можно немного отодвинуть от диэлектрика.

2. Наполняя резервуар до контролируемого уровня (люка) проверяем срабатывание датчика. Если он не срабатывает при достижении жидкостью или сыпучей средой контролируемого уровня – увеличиваем чувствительность потенциометром.

3. Проверяем п.1.

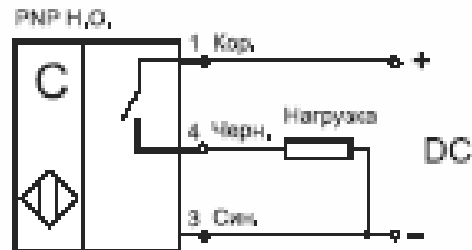
Таблица максимально возможной толщины диэлектрика (стекло-текстолит, стекло с $\epsilon_r=5$), закрывающего люк.

Применяемая группа датчиков			ВБЕ-Ц30-... ВБЕ-М30-...	
Минимальный размер люка			Диаметр 60 мм	Диаметр 90 мм
Контролируемая среда	$\epsilon_r=80$	Вода	8 мм	11 мм
	$\epsilon_r=2$	Масло	3 мм	5 мм
	$\epsilon_r=3-7$	Цемент или сухой отсев	8 мм	10 мм

Приложение В

Бесконтактный емкостный выключатель ВБЕ-М30-73Р-1111-СА

Схема соединений

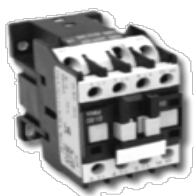


Габаритные размеры и модификации ВБЕ-М30-73Р

Типоразмер	Схема подключения	Коммутационная функция	Расстояние срабатывания	Частота циклов срабатывания	Корпус и способ подключения
ВБЕ-М30-73Р-1111-СА	PNP	НО	S_n 10 мм	10 Гц	<p>Утапливаемая установка</p> <p>Разъем М12. Ответная часть ПВ-РКП или ПВ-РКУ заказывается отдельно (стр.21). Степень защиты — IP65.</p>
ВБЕ-М30-73Р-1113-СА	PNP	"ИЛИ"			
ВБЕ-М30-73Р-1121-СА	NPN	НО			
ВБЕ-М30-73Р-1123-СА	NPN	"ИЛИ"			

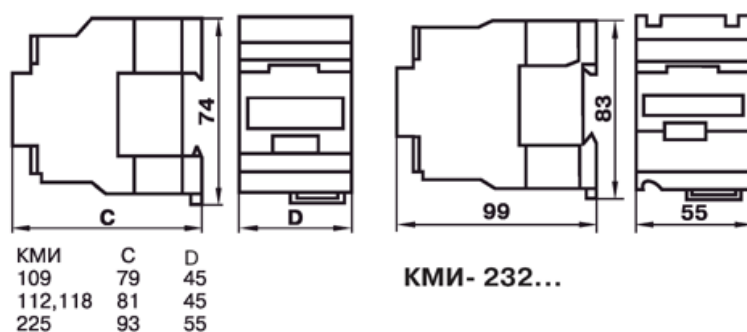
Контакторы малогабаритные КМИ

Назначение



Малогабаритные контакторы переменного тока общепромышленного применения КМИ на ток нагрузки от 9 до 95А предназначены для пуска асинхронных электродвигателей с коротко замкнутым ротором на напряжение до 660В.

Габариты



Технические характеристики:

- Номинальное рабочее напряжение переменного тока, В– 230, 400, 600;
- Номинальное напряжение изоляции, В – 660;
- Категория применения – АС1, АС3, АС4;
- Рабочее положение – вертикальное с отклонением $\pm 30^{\circ}$;
- Степень защиты по ГОСТ 14254-96 – IP20.

Внутреннее устройство

1. Основание из термостойкой ABS-пластмассы.
2. Неподвижная часть магнитной системы.
3. Подвижная часть магнитной системы.
4. Втягивающая катушка.
5. Контактные зажимы.
6. Металлическая платформа (для номинальных токов свыше 25А).
7. Траверса с подвижными мостиковыми контактами.
8. Крепежный винт.
9. Возвратная пружина.
10. Алюминиевые кольца. 11. Неподвижный контакт. 12. Присоединительный зажим с насечкой для фиксации внешних проводников

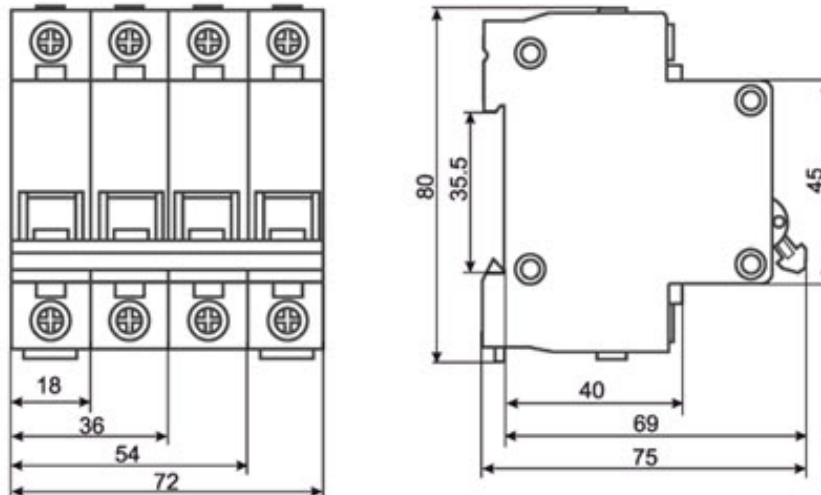
Автоматические выключатели ВА 47-29 и ВА 47-100

Назначение

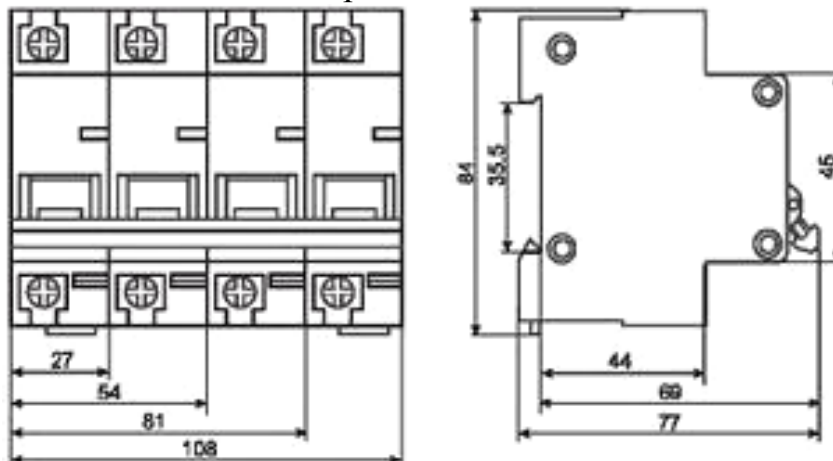
Автоматические выключатели ВА 47-29 и ВА 47-100– современное поколение аппаратов, предназначенных для защиты электрических цепей от перегрузок и токов короткого замыкания (сверхтоков), а также для осуществления оперативного управления участками электрических цепей. Выключатели выпускаются с защитными характеристиками В, С, D. Все изделия соответствуют ГОСТ Р 50345-99 и изготавливаются по ТУ 2000 АГИЕ.641.235.003.



Габариты ВА 47-29



Габариты ВА 47-100



Продолжение приложения Д

Зависимость коммутируемого рабочего тока I_e от температуры окружающей среды

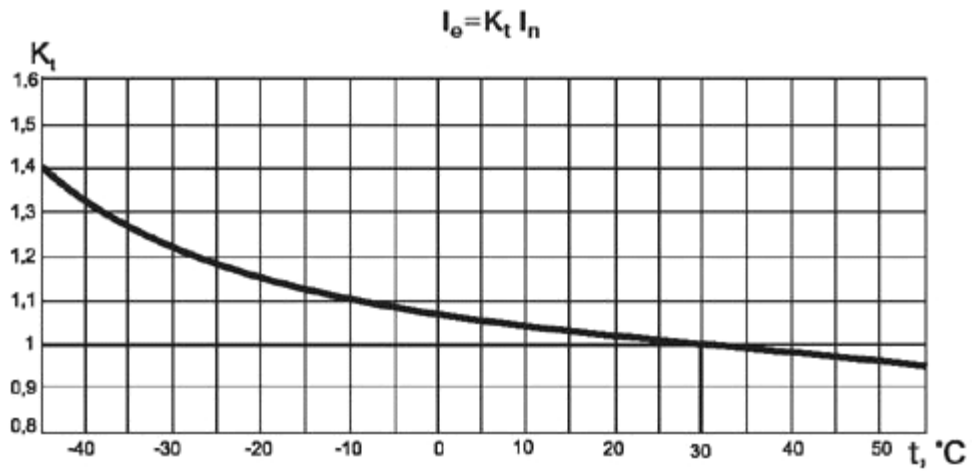


Рис. 1

Время-токовые характеристики

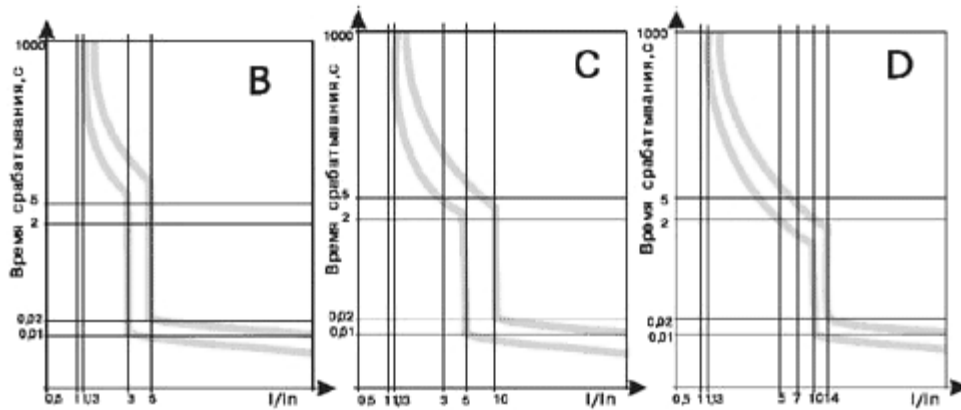


Рис. 2

СТІ 100 - автоматический выключатель / ручной пускатель



Серия изделий СТІ, имеющая гибкую модульную конструкцию, предоставляет большой выбор навесных вспомогательных функциональных устройств и принадлежностей: вспомогательных контактов, контактов аварийной сигнализации, максимальных и минимальных расцепителей.

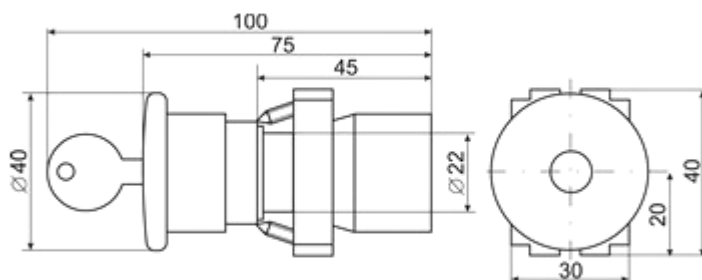
- Компактная конструкция.
 - Установка на DIN-рейках.
 - Применение для электродвигателей.
 - Защита от короткого замыкания.
 - Защита двигателей от перегрузки (31.5- 45 кВт).
 - Диапазон уставки: 40 – 100 А.
 - Ручной переключатель (ручной пуск электродвигателя).
 - Разъединитель (с блокировочным устройством).
 - Аварийный выключатель (с минимальным расцепителем).
- Индикация:
- Функции испытания и сброса
 - ВКЛЮЧЕНО или ВЫКЛЮЧЕНО
 - Тепловой и электромагнитный расцепители

Кнопка IEK LAY5-BS142 Грибок с ключом 230В 1з+1р D22



Используется для оперативного управления контакторами (магнитными пускателями) и реле автоматики в электрических цепях переменного тока частотой 50 Гц напряжением до 660 В, либо постоянного тока напряжением до 400 В.

Габаритные и присоединительные размеры



Изделие состоит из двух узлов — быстросъемной головки и контактного модуля. Контактная группа черного цвета — замыкающая (1з), коричневого цвета — размыкающая (1р).

Особенности:

- Подключение подводящих проводников производится винтовыми зажимами с тарельчатыми шайбами, которые обеспечивают надежную фиксацию проводов.
- Уплотнительные кольца предотвращают попадание жидкости внутрь механизма.

Приложение Ж

Посты управления кнопочные серий ПКЕ 112 и ПКЕ 122.


ПКЕ - обозначение серии;

1 - без задней корпусной крышки для встройки в нишу защита IP 00 со стороны контактов;

1/2 - без резиновой прокладки защита IP 40 со стороны кнопок / с резиновой прокладкой защита IP 54 со стороны кнопок;

2 - пластмассовый материал корпуса;

1/2/3 - количество кнопок 1/2/3 шт. (цвет красный или черный, кнопка простая или грибовидная).

Типоисполнение постов	Размеры (мм)		Масса (кг) при		Цена (руб./шт.)	Фото
	L1	L2	L1	L2		
Посты управления серии ПКЕ с тремя управляющими элементами и нишей для встройки:						
ПКЕ 112-3У3, УХЛ3	53	71	0.26	0.29	146,27	
ПКЕ 112-3Т3			0.29	0.32	146,27	
ПКЕ 122-3У2, УХЛ2			0.28	0.31	180,69	
ПКЕ 122-3Т2	54	72	0.31	0.34	180,69	

Блок шин BRT115A 3 полюса 115А



Предназначен для коммутации жил проводов и кабелей в щитах.

Номинальный ток: 115 А. Кол-во полюсов: 3.

Кол-во присоединений: 3×7.

Максимальное сечение присоединяемого кабеля: 10—35 мм².

Максимальное сечение отводимого кабеля: 6×2,5—16 мм².

Габаритные размеры: 80×71,5×42,5 мм.

Крепление: на DIN-рейку и монтажную плату.

Изготовитель: «ABB».

Шина земля РЕ 8

Шина земля на 8 присоединений, никелированная латунь на 150 А.

Предназначены для присоединения защитного провода.

Габаритные размеры: 65x8x12 мм.



Клеммы WAGO

WAGO 264-711



Предназначены для присоединения 2-х одножильных медных и алюминиевых проводников с каждой стороны.

Крепятся на DIN-рейку.

Способ присоединения жил проводов — пружинный.

Номинальный ток: 24 А.

Габаритные размеры: 28,5×36,5×12 мм.

Сечение провода: 2,5 мм².

Материал зажимной пружины: хромникелевая сталь.

Материал изоляции: полиамид.

WAGO 264-731



Предназначены для присоединения 4-х одножильных медных и алюминиевых проводников с каждой стороны.

Крепятся на DIN-рейку.

Способ присоединения жил проводов — пружинный.

Номинальный ток: 24 А.

Габаритные размеры: 28,5×36,5×12 мм.

Сечение провода: 2,5 мм².

Материал зажимной пружины: хромникелевая сталь.

Материал изоляции: полиамид.

WAGO 285-135



Предназначены для присоединения одножильных и многожильных проводников.

Номинальное напряжение: 1000 В, 50 Гц.

Номинальный ток: 125 А.

Сечение подключаемого провода: 6–35 мм².

Фиксация проводника в клемме осуществляется специальным ключом 210-721.

Габаритные размеры: 86×63×16мм.

Крепление: DIN-рейка шириной 35 мм.

Продолжение приложения И

WAGO 285-150



Предназначены для присоединения одножильных и многожильных проводников.

Номинальное напряжение: 1000 В, 50 Гц.

Номинальный ток: 150 А.

Сечение подключаемого провода: 10–50 мм².

Фиксация проводника в клемме осуществляется специальным ключом 285-172

Габаритные размеры: 94×87×20мм.

Крепление: DIN-рейка шириной 35 мм.

Зажим WAGO 773-328



Предназначены для соединения 8 медных жил проводов сечением 2,5 мм². Состоят из пластмассового корпуса со встроенной втычной клеммной колодкой для зажима жил проводов. Без контактной пасты. Номинальный ток: 24 А.

Таблица сигналов цепи управления

Дискретные сигналы			Кол-во сигналов
Входы логического модуля LOGO!	КВ1, КВ2 с верхнего клапана	Отк/зак. верхнего клапана	2
	КВ3, КВ4 с нижнего клапана	Отк/зак. нижнего клапана	2
	Начало работы	Включение кнопки «Старт»	1
	Информация с ДУ1	Заполнение приемной воронки (аварийный)	1
	Информация с ДУ2	Сигнал наличия материала в промежуточном бункере	1
	Информация о срабатывании пускателей П1, П2 и П5, П6	Сигнал работы двигателей шихтовых задвижек М2, М4	4
Всего			11
Выходы логического модуля LOGO!	На преобразователь частоты	Пуск М1 и сигналы задания скорости	2
	На пускатель П3	Пуск двигателя М3 (Закрытие верхнего клапана)	1
	На пускатель П4	Пуск двигателя М3 (Открытие верхнего клапана)	1
	На пускатель П7	Пуск двигателя М5 (Закрытие нижнего клапана)	1
	На пускатель П8	Пуск двигателя М5 (Открытие нижнего клапана)	1
Всего			6

Смета на оборудование

Наименование	количество	поставщик	стоимость
Конструктивные элементы			
Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3А	2	ООО «Теллев»	3200 руб.
Логический модуль LOGO! 24 RC	1	ООО «ПромСпецРеле»	5563,70 руб. (135,70 Евро)
Модуль ввода/вывода LOGO! DM8 24R	1	ООО «ПромСпецРеле»	3050,40 руб. 74,40 Евро
Емкостной бесконтактный выключатель ВВЕ-М30-73Р-1111-СА	2	ЗАО «Сенсор»	н/д
Предохранители			
Плавкий предохранитель ВП 1-1 + держатель предохранителя ДВП4-1В	2	ООО РАДИОН-ЭК	2,50 + 12 руб.
Лампы сигнальные			
Светосигнальная арматура АМЕ с лампой накаливания КМ-24	5	Фирма «СЕКОИН»	16 руб.
Контакторы			
КМИ-10910 9А 220В/АС3 1НО+ ПКИ-22	4	ООО «Россальянс Сервис»	182,0 руб.+ 94 руб.
Двигатели			
АИР 200 L4	1	ООО «Регионэлектросбыт»	24000 руб.
АИР 100 S4	2	ООО «Регионэлектросбыт»	4000 руб.
АИР 63 В4 (МЭП)	2	ООО «НПО Валентина»	1378 руб (стоимость МЭП-25000/16-160-97) – н/д
Автоматические выключатели			
СТ1 100 3р 90А	1	«Matrix Group, LLC - Про-	277 руб.

		дукция компании DANFOSS»	
ВА 47-100 4р 100А	1	Торговый дом "Энерго-Кабель"	441,73 руб.
ВА 47-29 2р 1,6А	1		43 руб.
ВА 47-29 3р 1,6А	2		122,68 руб.
ВА 47-29 4р 25А	1		272,41 руб.
ВА 47-29 3р 13А	2		98 руб.
Резисторы			
С2-33-1-80 Ом ± 10%	1	ООО «СибТЭК»	0,75 руб.
С5-35В 25Вт 2,2 кОм ± 5%	6	ООО «Диод»	38 руб.
Выключатели			
Кнопка управления «Грибок» LAУ5- BS142	1	Фирма «СЕКОИН»	146 руб.
Пост управления ПКЕ 122-3У2	2	Фирма «СЕКОИН»	180,69 руб.
Концевые выключа- тели МЭП	4	-	<i>Поставляется с МЭП</i>
Концевые выключа- тели ВП15	4	ООО «Активэнерго.РУ»	370.00 руб.
Преобразователи			
Преобразователь частоты VFD 450 F 43А	1	ООО «Матрикс Групп»	82000 руб.
Блок питания LOGO!POWER 24 В/ 1.3 А, 30 Вт 6EP1331-1SH02	1	ООО «Энергостандарт»	2467 руб. (60,18 Евро)
Соединители			
Блок шин BRT115А	1	ЗАО «МПО Электромон- таж»	2087 руб.
Шина - земля РЕ 8	1		36,23 руб.
Переходная клемма Wago 285-150	4		529,03 руб.
Переходная клемма Wago 285-135	3		243,64 руб.
Переходная клемма Wago 264-731	19		39,40 руб.
Переходная клемма Wago 264-711	5		26,58 руб.
Wago 773-328	1		8,43 руб.
Wago 773-324	1		4,98 руб.

Кабели			
АВВГнг-ХЛ 4х50(ож)-0,66	50	ООО «Россальянс Сер- вис»	830 руб/м
ВВГнг-ХЛ 3х25(ож)-0,66	50		366 руб/м
АВВГнг-ХЛ 3х2,5(ож)-0,66	50		42 руб/м
КГВВнг 2х1,0	50		11 руб/м
КГВВнг 2х0,5	50		9,4 руб/м
ВВГнг-ХЛ 3х1,5(ож)-0,66	50		28 руб/м
КУГВВЭ 2х0,35	50		6,82 руб/м
ПВ-1 1х16,0	25		41,24 руб/м
ПВ-1 1х1,0	25		3,62 руб/м
ПВ-1 1х0,5	25		1,61 руб/м
Шкафы			
ШЭН	1	ЗАО «Радиокомплект- компьютер»	7537,70 руб.
JXF-4030/200	1		1450 руб.
Сальники			
PG48	1	Группа компаний «ЭЛЕКТРОПРОДУКТЪ»	63 руб
PG29	1		24,08 руб
PG11-N	1		7,03 руб
PG9	4		5,92 руб
PG7	14		4,81 руб
Металлорукав			
РЗ-ЦХ 50 15	2	ООО «Россальянс Сер- вис»	88 руб/м
РЗ-ЦХ 32 35	1		61руб/м
РЗ-ЦХ 22 15	2		40 руб/м
РЗ-ЦХ 18 15	2		33 руб/м
РЗ-ЦХ 15 20	1		29 руб/м
РЗ-ЦХ 15 100	1		27руб/м
Кабель-канал перфорированный			
20х25	1	ООО «Электрополе»	56 руб/м
25х40	3		63 руб/м
40х40	5		75 руб/м
DIN-рейки			
DIN-рейка 10101 7,5х35х300мм ме- таллическая	6	Группа компаний «ЭЛЕКТРОПРОДУКТЪ»	10,60 руб
Всего			218614,34 руб

Список литературы

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов.– М.: Издательский центр «Академия», 2004.– 576 с.
2. А.В. Каталымов, В.А. Любартович Дозирование сыпучих и вязких материалов, Ленинград, ХИМИЯ, 1990 г.
3. А.М. Григорьев «Винтовые конвейеры», Изд. МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1992 г.
4. С.П. Орлов Дозирующие устройства, Изд. МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1980 г.
5. А.Ю. Чернышев, И.А. Чернышев Расчет характеристик электроприводов переменного тока, Часть 1 – Асинхронный двигатель, Томск, 2005 г.
6. Ю.Д. Видинеев Автоматическое непрерывное дозирование сыпучих материалов, Москва, Изд. Энергия, 1995 г.
7. А.В. Пугачев Контроль и автоматизация переработки сыпучих материалов, Москва, ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1998 г.
8. Журнал «Современные Технологии Автоматизации» изд.2002 г. №1.
9. Следящие электроприводы станков с ЧПУ/ А.М. Лебедев, Р.Т. Орлова, А.В. Пальцев. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 233 с.
10. Коровин Б.Г., Прокофьев Г.И., Рассудов Л.Н. Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами. –Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 352с
11. Мартинов Г.М., Сосонкин В.Л. Концепция числового программного управления мехатронными системами: реализация геометрической задачи // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2001. №1. – С. 9-15.
12. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Концепция числового программного управления мехатронными системами: методологические аспекты построения открытых систем ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2002. №2. – С. 2-11.

13. Чернов Е. А., Кузьмин В. П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ: Справочное пособие. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1989. – 320 с.
14. Преобразователь частоты с управлением вектором потока EI-9001. Инструкция по эксплуатации. Часть 1, часть 2 (константы).
15. А.Ю. Чернышев, С.В. Ланграф Изучение преобразователя частоты модели «ВЕСПЕР» EI-9011, Методические указания, Томск, ТПУ, 2003г.
16. Электротехнический справочник в 4-х томах, Т.4 – Использование электрической энергии, под ред. Герасимова, 2002 г.
17. Козаченко В.Ф. Микроконтроллеры: руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров Intel MCS-196/296 во встроенных системах управления. — М.: Издательство ЭКОМ, 1997. — 688 с.
18. Сартаков В. Д. Микропроцессорное управление электроприводами: Учебное пособие. Часть 1. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. — 165 с.
19. Чернышев А.Ю. Исследование систем «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель»: метод. указ. / А.Ю. Чернышев, С.В. Ланграф. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003.
20. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 616 с.
21. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 1. – Введение в технику регулирования линейных систем. Ч. 2. – Оптимизация контура регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 144 с.
22. Н.В. Гусев Н.В., М.А. Нечаев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко, Комплексная автоматизация технологических процессов. Лабораторный практикум: учебное пособие / Н.В. Гусев, М.А. Нечаев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко; Томский политехнический университет.- Томск: Изд-во ТПУ, 2011.-134с.
23. Н.В. Гусев. Комплексная автоматизация технологических процессов: учебное пособие / Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко; Томский политехнический университет.- Томск: Изд-во ТПУ, 2011.-196с.

24. Н.В. Гусев. Автоматизация технологических комплексов и систем в промышленности: учебное пособие / Н.В. Гусев, С.В. Ляпушкин, М.В. Коваленко; Томский политехнический университет.- Томск: Изд-во ТПУ, 2011.-196с.

25. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование и исследование автоматизированных ЭП. Ч.4. Тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.

26. Удут Л.С., Кояин Н.В., Мальцева О.П. Проектирование автоматизированных тиристорных электроприводов постоянного тока. Учебное пособие по курсовому проектированию. Томск, изд. ТПИ, 1991. – 104 с.

27. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных ЭП. Ч.6. Механическая система электропривода: учебное пособие / Л.С. Удут, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева. Издание 2-е переработанное и дополненное. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 164 с.

28. Удут Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных ЭП. Ч.3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: учебное пособие / Л.С. Удут, Н.В. Кояин, О.П. Мальцева . Издание 2-е переработанное и дополненное. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 152 с.

29. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов/ М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – 2-е изд., стер.- М.: Издательский центр «Академия»,2004.-576с.

30. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях, компания Omron – Режим доступа: <http://www.rakurs.ru/brends/Omron/catalog/>

31. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электронных изделиях, компания Advantech – Режим доступа: <http://www.rts.ua/rus/catshop/441/0/9616/>

32. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электронных изделиях, компания Fastwel – Режим доступа: <http://texcistrade.ru/catalog/industrial/fastwel/?descript=6991>

33. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях, компания ООО «Чебоксарский электроаппаратный завод» – Режим доступа: <http://www.elpri.ru/pdf/>

34. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях, компания ООО «Электроаппаратура» – Режим доступа:

<http://www.elmotor.ru/tr1100.html>

35. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях, компания ИЕК – Режим доступа: <http://www.iek.ru/products/catalog/detail.php?ID=7774>

36. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях, компания Omron – Режим доступа: <http://www.hakur.ru/limit/limit.htm>

37. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях, фирма WAGO – Режим доступа:

http://www.prosoft.ru/Content/files/WAGO/1_rail_mount_1.pdf

38. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения об электротехнических изделиях, фирма Rittal – Режим доступа: <http://prosoft.ru/products/brands/rittal/>

39. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о бесконусном роторном загрузочном устройстве, компания ЗАО НПКЦ "ТОТЕМ" – Режим доступа: <http://www.totem-engineering.com>

40. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о электродвигателях, компания ООО «Регионэлектросбыт» – Режим доступа: <http://www.res-elektro.ru>

41. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о электродвигателях, компания ООО «Торговый Дом «Приводэлектромонтаж» – Режим доступа: <http://www.tdpem.ru/>

42. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о преобразователях частоты, компания ООО «Матрикс Групп» – Режим доступа: <http://www.matrix-mail.ru>

43. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о емкостных бесконтактных выключателях, компания ЗАО «Сенсор» – Режим доступа: <http://www.sensor-com.ru>

44. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о автоматических выключателях, компания ООО «АктивЭнерго.РУ» – Режим доступа: <http://www.aktivenergo.ru>
45. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о контакторах КМИ, компания ООО «Россальянс Сервис» – Режим доступа: <http://www.elektro-portal.com>
46. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о бесконтактных выключателях, компания ООО «Теллев» – Режим доступа: <http://www.tellev.ru>
47. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о автоматических выключателях, компания «Торговый дом «Энерго-Кабель» – Режим доступа: www.energo-kabel.ru
48. Рябов В.И. Электрооборудование: Учеб. для сред. спец. учеб. заведений. – 5-е изд., перераб. – М: Экономика, 1990. – 175 с.
49. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о плавких предохранителях, компания ООО «РАДИОН-ЭК» – Режим доступа: <http://www.radionel.ru>
50. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о электротехнических изделиях, компания Фирма «СЕКОИН» – Режим доступа: <http://www.secoin.ru>
51. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о электротехнических изделиях, компания ООО «Диод» – Режим доступа: <http://radetali.ru>
52. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о кабельной продукции, ОАО «Завод «Севкабель» – Режим доступа: <http://www.sewkabel.ru/cable>
53. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о электротехническом оборудовании, компания ЗАО «МПО Электромонтаж» – Режим доступа: <http://www.electro-mpo.ru>
54. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о монтажном оборудовании, группа компаний «ЭЛЕКТРОПРОДУКТЪ» – Режим доступа: <http://www.electroprodukt.ru>
55. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о кабельной продукции, компания ООО «СКК» – Режим доступа: <http://itek-e.ru>

56. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о кабельной продукции, компания ЗАО «РосКабельСвязь» – Режим доступа: <http://roskab.ru>

57. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о электротехнических шкафах, ЗАО «Радиокомплект-компьютер» – Режим доступа: <http://www.rtkk.ru>

58. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о монтажном оборудовании, ООО «Электрополе» – Режим доступа: <http://www.rtkk.ru>

59. Электронный каталог [Электронный ресурс]: база данных содержит сведения о продукции Siemens, ООО «ПромСпецРеле» – Режим доступа: www.promspecrele.energoportal.ru

Учебное издание

ГУСЕВ Николай Владимирович
ЛЯПУШКИН Сергей Викторович
КОВАЛЕНКО Михаил Васильевич

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Учебное пособие


Научный редактор
кандидат технических наук,
доцент *Ю.Н.Дементьев*
Редактор

Подписано к печати Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. .
Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательство Томского политехнического университета сертифицировано
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru