

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет энергетический  
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники  
Направление подготовки: 15.03.04 «Автоматизация технологических  
процессов и производств»  
Направленность (профиль) программы «Автоматизация технологических  
процессов и производств в энергетике»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.А. Остапенко  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**БАКАЛАВАРСКАЯ РАБОТА**

на тему: Регулирование разряжения в топке котла Райчихинской ГРЭС

Исполнитель  
студент группы 341 – зсб \_\_\_\_\_ Д. А. Павлов  
(подпись, дата)

Руководитель  
доцент, канд. техн. наук \_\_\_\_\_ Н. С. Безруков  
(подпись, дата)

Нормоконтроль  
старший преподаватель \_\_\_\_\_ О. В. Скрипко  
(подпись, дата)

Благовещенск 2017

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВПО «АмГУ»)**

Факультет энергетический  
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники  
Направление подготовки: 15.03.04 « Автоматизация технологических процес-  
сов и производств»  
Направленность (профиль) программы «Автоматизация технологических  
процессов и производств в энергетике»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.А. Остапенко  
(подпись)  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ**

К выпускной квалификационной работе студента:

*гр. 341-зсб Павлова Дмитрия Андреевича*

1. Тема выпускной квалификационной работы: Регулирование разряжения в топке котла Райчихинской ГРЭС.
2. Срок сдачи студентом законченного проекта: 08.02.2017
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Содержание выпускной квалификационной работы: 1) изучение объекта автоматизации и постановка задачи; 3) разработка структурной схемы автоматизации; 4) выбор технических средств; 5) разработка принципиальной схемы; 6) разработка программного обеспечения.

5. Перечень материалов приложения:

Лист 1: Схема функциональная существующей системы;

Лист 2: Схема структурная системы управления;

Лист 3: Устройство преобразователя частоты;

Лист 4: Схема подключения преобразователя частоты;

Лист 5: Устройство и схемы подключения измерительного преобразователя и исполнительных механизмов;

Лист 6: Схемы подключения блоков управления и индикации;

Лист 7: Эскиз панели лицевой щита управления;

Лист 8: Контроллер программируемый логический. Схемы подключения и основные характеристики;

Лист 9: Схема принципиальная электрическая;

Лист 10: Перечни сигналов системы управления;

Лист 11: Экраны визуализации системы управления.

6. Дата выдачи задания 13.04.2016

Руководитель выпускной квалификационной работы: Безруков Николай Сергеевич, доцент, канд. тех. наук.  
(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 13.04.2016

\_\_\_\_\_ (подпись студента)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 103 страниц, 12 формул, 46 рисунков, 16 таблиц, 6 приложений, 29 источников.

ПАРОГЕНЕРАТОР, ДЫМОСОС, НАПРАВЛЯЮЩИЙ АППАРАТ, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАТОТЫ, БЛОК УПРАВЛЕНИЯ, ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР, SCADA-СИСТЕМА

Цель выпускной работы: разработка автоматизированной системы регулирования разрежения в верхней части топки парогенератора Райчихинской ГРЭС.

В выпускной квалификационной работе был рассмотрен объект автоматизации, схема технологического процесса и основное оборудование, выбраны технические средства автоматизации и разработаны:

структурная схема автоматизации;

принципиальная электрическая схема соединений;

эскиз щита управления;

управляющая программа;

SCADA-система.

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ .....	5
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	7
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ .....	9
ВВЕДЕНИЕ .....	10
1 ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ .....	11
1.1 Парогенератор.....	11
1.2 Дымосос .....	14
1.3 Структура существующей системы регулирования разрежения .....	18
1.4 Постановка задачи .....	20
1.4.1 Недостатки существующей системы .....	20
1.4.2 Эффективность применения частотного регулирования дымососов.....	21
1.4.3 Задачи модернизации системы управления .....	28
2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	29
3 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ .....	32
3.1 Преобразователь частоты .....	32
3.1.1 Типы высоковольтных преобразователей частоты .....	32
3.1.2 Обзор рынка высоковольтных преобразователей частоты .....	35
3.1.3 Выбор высоковольтного преобразователя частоты .....	41
3.2 Механизмы электрические однооборотные приводов направляющих аппаратов.....	47
3.3 Измерительный преобразователь разрежения .....	48
3.4 Программируемый логический контроллер .....	49
3.5 Блоки управления .....	52
3.6 Блоки индикации аналоговых величин.....	55
3.7 Устройства коммутации и сигнализации.....	57
3.8 Эскиз лицевой панели шкафа управления .....	60
4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ .....	62
4.1 Электрическая схема соединений и ее спецификация .....	62

4.2 Расчет и выбор устройств защиты .....	64
5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ .....	65
5.1 Выбор средств разработки .....	65
5.2 Структура и назначение программного комплекса.....	66
5.3 Входные и выходные переменные .....	66
5.4 Программная модель технологического процесса и щита управления .....	70
5.5 Программа управления .....	73
5.6 SCADA-система.....	74
5.6.1 Информационный обмен.....	74
5.6.2 Экран визуализации .....	77
5.7 Результаты апробации и перспективы развития программного обеспечения .....	79
6 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ.....	81
6.1 Требования по обеспечению безопасности и охраны труда на рабочем месте оператора щита управления .....	81
6.2 Характеристика опасных и вредных факторов .....	82
6.3 Требования к подбору персонала.....	84
6.4 Требования к электронно-вычислительным машинам и помещениям.....	85
6.5 Требования к режиму труда и отдыха оператора .....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	89
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	90
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	94
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	96
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	98
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	101
ПРИЛОЖЕНИЕ Е .....	102

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей бакалаврской работе использованы ссылки на следующие стандарты и нормативные документы:

ГОСТ 2.102-2013 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов;

ГОСТ 2.103-68 Единая система конструкторской документации. Стадии разработки;

ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи;

ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам;

ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы;

ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам;

ГОСТ 2.111-68 Единая система конструкторской документации. Нормоконтроль;

ГОСТ 2.121-73 Единая система конструкторской документации. Технологический контроль конструкторской документации;

ГОСТ 2.201-80 Единая система конструкторской документации. Обозначение изделий и конструкторских документов;

ГОСТ 2.301-68 Единая система конструкторской документации. Форматы;

ГОСТ 2.321-84 Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенные;

ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению;

ГОСТ 3.1116-79 Единая система технологической документации. Нормоконтроль;

ГОСТ 2.702-2011 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем;

ГОСТ 2.709-89 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные проводов и контактных соединения электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах;

ГОСТ 2.710-81 Единая система конструкторской документации. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах;

ГОСТ 2.721-74 Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения;

ГОСТ 19.701-90 Единая система конструкторской документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем;

ГОСТ 21.404-85 Система проектной документации. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах;

ГОСТ 34.602-89 Единая система конструкторской документации. Техническое задание на создание автоматизированной системы;

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды;

ОСТ 36.13-90 Щиты и пульты средств автоматизации технологических процессов.



## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

ВКР – выпускная квалификационная работа

ДС – дымосос;

НА – направляющий аппарат;

ПЧ – преобразователь частоты;

ТП – технологический процесс

ЩУ – щит управления

## ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассматривается создание автоматизированной системы регулирования разрежения в верхней части топки парогенератора Райчихинской ГРЭС. Система предназначена для ручного и автоматического управления производительностью дымососов парогенератора с целью поддержания постоянного разрежения 20-30 Па для обеспечения устойчивости факела и недопущения выбивания топочных газов из топочной камеры. Основной упор сделан на обеспечение экономичности процесса регулирования за счет частотного регулирования дымососов. Вместе с тем предлагаемая система дает возможность реализации и традиционного способа регулирования с воздействием на направляющие аппараты дымососов.

# 1 ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

## 1.1 Парогенератор

Райчихинская ГРЭС – старейшее энергетическое предприятие Амурской области, находится в поселке Прогресс.

Основное оборудование станции: 2 котлоагрегата типа ЦКТИ-75-39Ф ст. № 3 и ст. № 4, 4 котлоагрегата типа БКЗ-220-100Ф ст. № 6-9, турбоагрегат типа К-12-29 ст. № 4, турбоагрегат типа Р-7-29/7 ст. № 5, турбоагрегат типа К-50-90 ст. № 6, турбоагрегат типа П-33/50-90/8 ст. № 7. Топливом для Райчихинской ГРЭС служит бурый уголь Райчихинского месторождения.

В данной работе рассмотрена система регулирования разрежения в топке котлоагрегата БКЗ-220-100Ф.

Котельный агрегат БКЗ-220-100Ф – вертикально-водотрубный одноба-  
рабанный, предназначен для сжигания угля (с жидким шлакоудалением). В  
процессе эксплуатации реконструировался: демонтированы трубы «Вентури»  
(газоходы спрямлены), заменены горелки на газомазутные, выполнена рецир-  
куляция дымовых газов, демонтирована система пылеприготовления (мельни-  
цы, сепаратор пыли, циклон, пылепитатели, мельничный вентилятор), демонти-  
рована система жидкого шлакоудаления. На котел установлен вентилятор ре-  
циркуляции уходящих газов ВГДН-17.

Технические данные:

1. Максимальная паропроизводительность – 220 т/ч;
2. Давление пара в барабане – 100 кгс/см<sup>2</sup>;
3. Температура перегретого пара – 510 °С;
4. Температура питательной воды – 215 °С.

Компоновка котла выполнена по П – образной схеме с двух ступенчатой  
системой испарения. Топка представляет собой первый восходящий газопод-  
ъемник. Топочная камера полукрытого типа, имеющая режим, расположенный при-  
мерно на ¼ высоте топки (считая от пода) с сечением пережима около 50% го-  
ризонтального сечения топки.

Ниже пережима имеется восьмигранный предпоток. Предпоток выполнен из труб  $dn \times S = 60 \times 5,5$  мм, материал Ст.20, с шагами 64 мм и 90 мм на угловых гранях. Все стены его ошипованы и утеплены.

Камера охлаждения (верхняя часть топки) имеет прямоугольное сечение с размерами  $6656 \times 7168$  (по фронту) и экранирована трубами  $dn \times S = 60 \times 4$  мм, материал Ст.20, расположенными шагом 64 мм.

Топочная камера выполнена из 12 транспортабельных блоков, каждый из которых составляет самостоятельный циркуляционный контур. Пароводяная смесь из верхних камер боковых и фронтальных экранов отводится в барабан и выносные циклоны трубами  $dn \times S = 133 \times 8$  мм, материал Ст.20, а из заднего экрана трубами  $dn \times S = 133 \times 8$  мм, материал Ст.20 и  $dn \times S = 133 \times 10$  мм, материал Ст.20. Подвод котловой воды к нижним камерам экранов осуществляется водоподводящими трубами  $dn \times S = 133 \times 8$  мм, материал Ст.20 из барабана котла.

В верхней части камеры охлаждения трубы заднего экрана образуют аэродинамический выступ, который предназначен для улучшения аэродинамики газового потока на выходе из топочной камеры и частичного затемнения ширм пароперегревателя.

В горизонтальной части топки расположен пароперегреватель. Пароперегреватель котла радиационно-конвективного типа. Радиационную часть составляет потолочный пароперегреватель. Полурадиационный пароперегреватель представлен ширмами, расположенными в верхней части топки над аэродинамическим выступом заднего экрана. Конвективные поверхности пароперегревателя находятся в горизонтальном поворотном газоходе котла. Регулирование температуры перегретого пара осуществляется путем впрыска собственного конденсата в пароохладители I и II ступени.

Котел оборудован двумя дутьевыми вентиляторами ДВН-20, производительностью  $119 \times 103$  м<sup>3</sup>/ч и двумя дымососами Д-22×2 производительностью  $180 \times 103$  м<sup>3</sup>/ч.

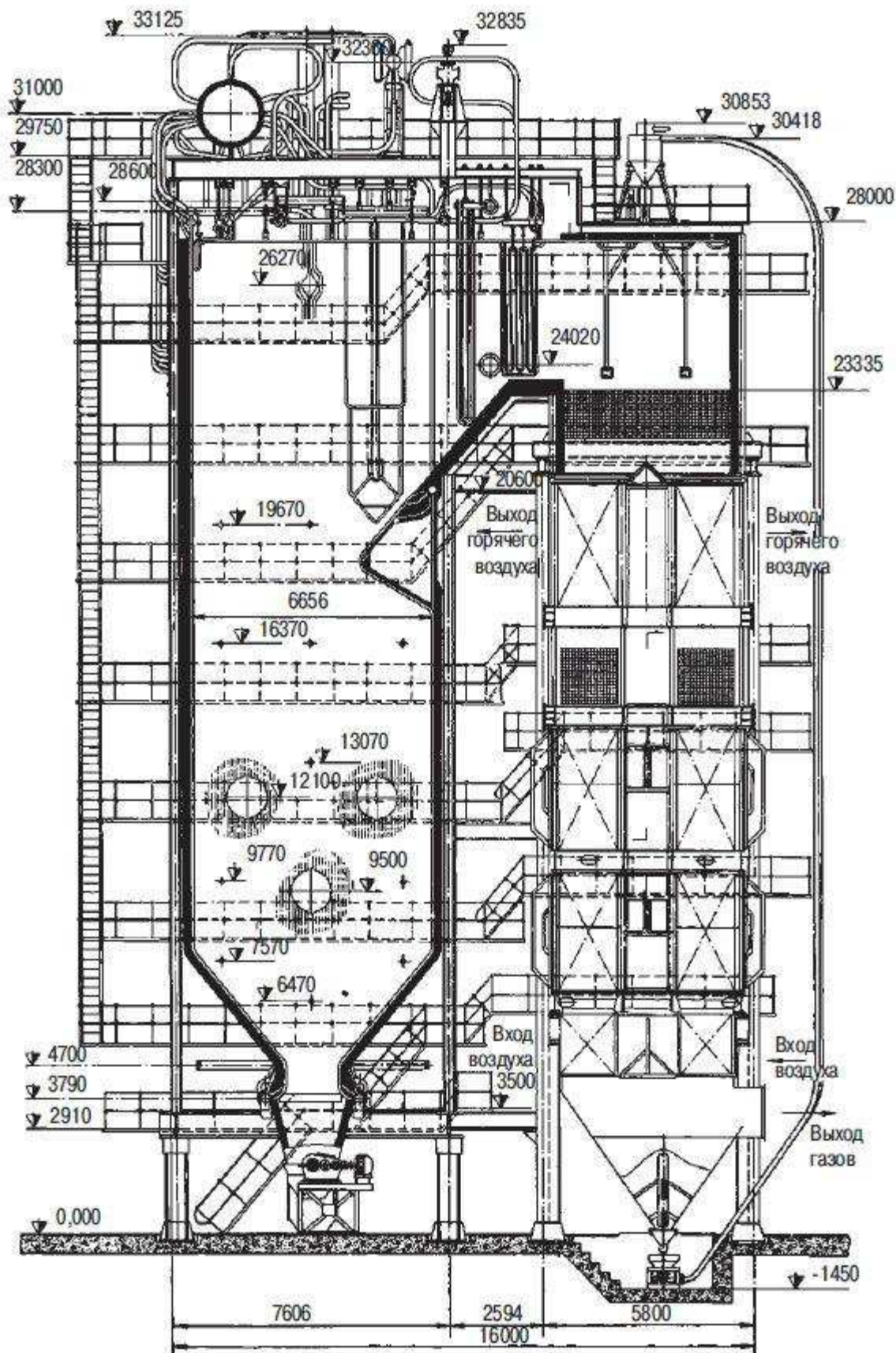


Рисунок 1 – Продольный разрез котлоагрегата

## 1.2 Дымосос

Дымосос ДН22х2 – двустороннего всасывания, предназначен для удаления газов из топок твердотопливных котлов. Эксплуатация тягодутьевой машины ДН22х2 допускается при перемещении неагрессивных газов с содержанием твердых частиц не более двух граммов на кубический метр, со склонностью к налипанию и абразивностью сходной с оголенными дымовыми газами. Тягодутьевые машины ДН22х2 должны эксплуатироваться при продолжительном режиме работы в помещении или на открытом воздухе. Максимально допустимая температура перемещаемого газа на входе не более двухсот пятидесяти градусов Цельсия.

Таблица 1 – Основные технические характеристики тягодутьевой машины ДН22х2

Марка электродвигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Производительность, м <sup>3</sup> /час	Полное давление, Па t=200 град	Масса, кг
ДАЗО4-450Х-10М	250	600	229	2000	16100
ДАЗО4-450УК-8М	400	750	285	3150	16100

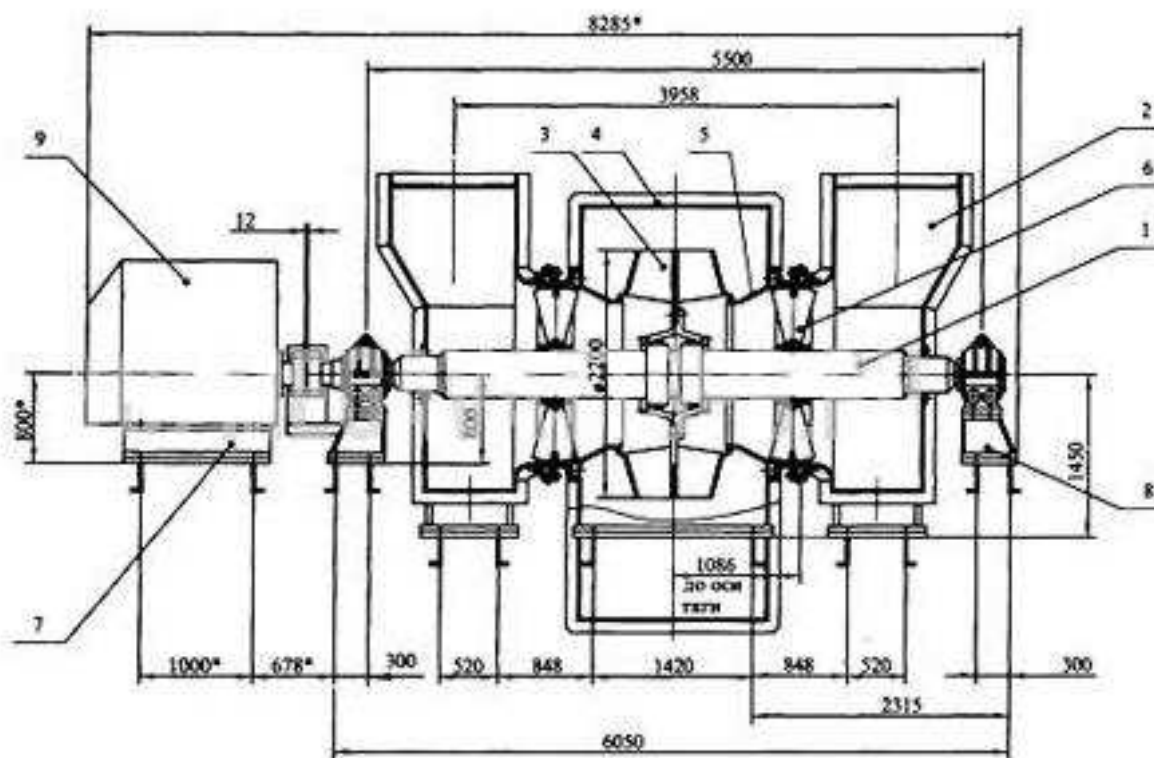


Рисунок 2 – Габаритные размеры и устройство тягодутьевой машины ДН22х2:

- 1 – ходовая часть;
- 2 – всасывающий карман;
- 3 – рабочее колесо;
- 4 – корпус;
- 5 – коллектор;
- 6 – осевой направляющий аппарат;
- 7 – рама двигателя;
- 8 – опора;
- 9 – двигатель.

Электродвигатели с короткозамкнутым ротором ДАЗО4 предназначены для привода механизмов, не требующих регулирования частоты вращения (насосы, вентиляторы, дымососы и др.). Двигатели серии ДАЗО4 имеют закрытое обдуваемое исполнение (степень защиты IP44) и предназначены для работы на открытом воздухе и в помещениях с повышенной влажностью и запыленностью при температуре окружающей среды от + 40 до – 40 °С.

Конструкция двигателя выполнена таким образом, что обмотка, магнитопровод и вентиляционные элементы внутреннего тракта полностью идентичны электродвигателям А4, при этом мощность двигателей серии ДАЗО4 снижается на одну ступень. Переход от защищенного исполнения асинхронных двигателей серии А4 к обдуваемой серии ДАЗО4 осуществляется путем замены вентиляционного кожуха машин серии А4 на трубчатый охладитель в серии ДАЗО4, который устанавливают сверху на станину, дополнительно также устанавливают вентилятор и кожух внешнего цикла вентиляции.

В двигателях серии ДАЗ04 применена изоляция обмотки статора типа «монолит-2». Катушки изолируют непропитанной слюдинитовой лентой и укладывают в статор. Обмотанный статор погружают в котел и пропитывают вакуум-нагнетательным методом в эпоксидном компаунде, после чего запекают в печи.

Короткозамкнутую обмотку ротора электродвигателя ДАЗО4 выполняют сварной из прямоугольных алюминиевых стержней и алюминиевых короткозамкнутых колец. Обмотка ротора – двухслойная стержневая волновая.

Сердечник статора запрессован в станине между двумя нажимными шайбами и закреплён с помощью упорных шпонок и сварных швов. Паза статора открытые.

Сердечник ротора запрессован между двумя нажимными шайбами и закреплён призматической и кольцевой шпонками. Сердечники роторов имеют радиальные (аналогично статору) и аксиальные вентиляционные каналы. В 10- и 12-полюсных электродвигателях с высотой оси вращения 450 мм аксиальные каналы образованы ребрами в сварных валах, в остальных асинхронных двигателях вентиляционные отверстия выполнены в листах сердечника и нажимных шайбах.

Подшипниковые щиты выполнены литыми из чугуна. Двигатели имеют однорядные подшипники качения. Со стороны рабочего конца вала установлен роликовый подшипник, с противоположной стороны — шариковый. Смазка подшипников консистентная.



Коробка выводов статора – штампованная из тонколистовой стали, разъемная и допускает как сухую разделку так и заливку компаундной массой концов подводимого силового кабеля.

В электродвигателях ДА304 вентиляция разделяется на внутреннюю и внешнюю. Внутренняя система вентиляции идентична системам, принятым в асинхронных двигателях серий А4, АК4, при этом циркуляция воздуха осуществляется по замкнутому циклу. Нагретый воздух охлаждается, проходя между трубками воздухоохладителя. Воздух во внешнюю систему забирается из окружающей среды с помощью внешнего вентилятора, проходит по трубкам воздухоохладителя и выбрасывается в окружающую среду.

Пуск электродвигателей с короткозамкнутым ротором прямой, обеспечивается при номинальном напряжении сети и при снижении напряжения сети за время пуска до  $0,8 U_{ном}$ .

Предельно допустимые значения момента инерции, определенные из условий двух пусков с интервалом 5 мин из холодного состояния или одного пуска из горячего состояния при номинальном напряжении и среднем моменте статических сопротивлений за время пуска, равном  $0,3M_{ном}$ , должны соответствовать приведенным в табл. 2. Для этих условий интервал между последующими пусками – не менее 3 ч.

Количество пусков – не менее 2000 за период эксплуатации, но не более 250 в год. При среднем моменте статических сопротивлений за время пуска, равном  $0,3M_{ном}$ , и моменте инерции механизма, не превышающем 10% значения предельно допустимого значения момента инерции, допустимое количество пусков в год составляет не менее 500 при общем числе пусков за время эксплуатации, равном 10000.

Таблица 2 – Электрические характеристики двигателей тягодутьевой машины ДН22х2

Тип двигателя	Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин	Напряжение, В	КПД, %	cosφ, о.е.	Ток статора, А	M <sub>макс</sub> /M <sub>ном</sub>	M <sub>пуск</sub> /M <sub>ном</sub>	I <sub>пуск</sub> /I <sub>ном</sub>	Маховый момент, кгм <sup>2</sup>	
										ротора	допустимый механизма
ДА304-450Х-10МУ1	250	600	6000	92,5	0,78	33	2,3	1,3	6	152	6000
ДА304-450УК-8МУ1	400	750	6000	93,8	0,81	50,5	2,3	1,2	6	172	5200

### 1.3 Структура существующей системы регулирования разрежения

Функциональная схема существующей системы автоматизации процесса регулирования разрежения показана на рис. 3.

На вход регулятора (ИУ) подается сигнал по разрежению в топке и сигнал задатчика.

Вырезка отборных устройств по разрежению слева и справа топки выполнена в верхнюю часть топочной камеры перед горизонтальным газоходом, затем разрежение усредняется путем объединения импульсных линий в одну и подается на ИП, сигнал которого принимает измерительный блок регулятора.

Значение разрежения, поддерживаемое регулятором может быть изменено задатчиком в диапазоне  $\pm 10$  кгс/м<sup>2</sup> (100 Па). Цена одного деления задатчика 0,2 кгс/м<sup>2</sup>.

Регулятор воздействует на направляющие аппараты обоих дымососов через систему синхронизации их хода, реализованную с помощью блока ЛО2, осуществляющего преобразование аналогового сигнала в релейный (аналого-релейный преобразователь), рис. 4.

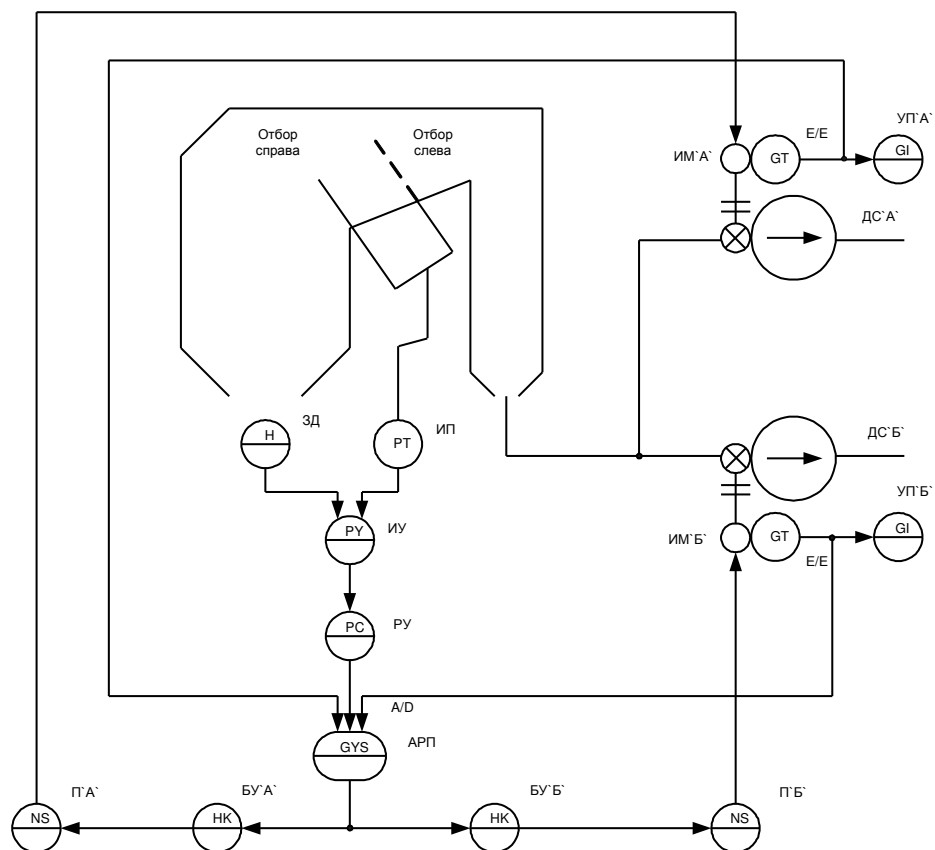


Рисунок 3 – Функциональная схема существующей системы автоматизации

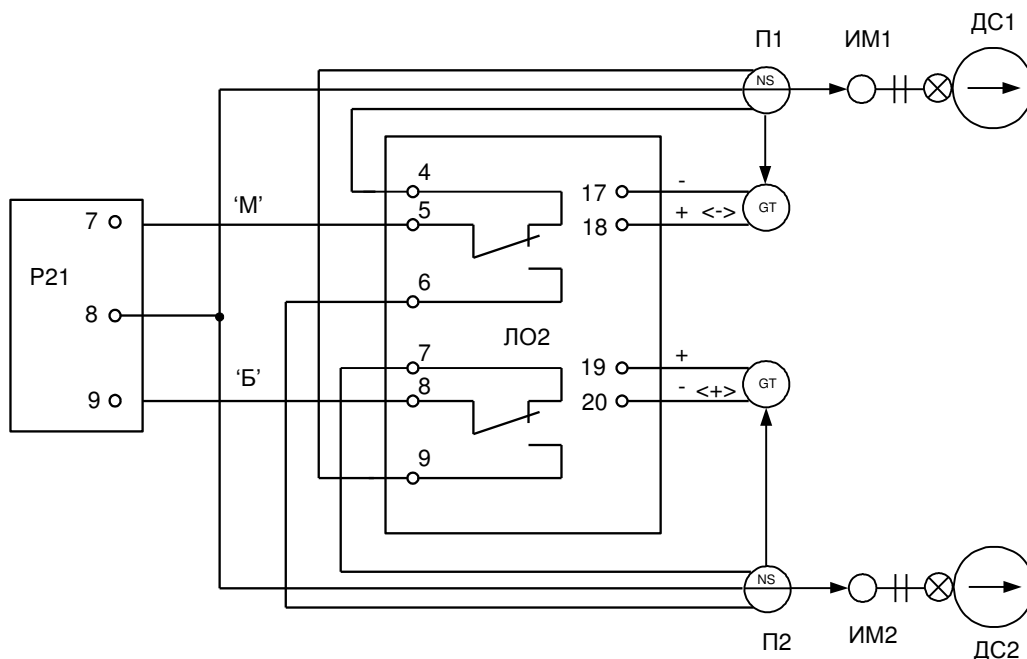


Рисунок 4 – Система синхронизации хода дымососов

На блок ЛО2 подаются и сравниваются между собой токовые сигналы по положению направляющих аппаратов ДС от блоков сигнализации положения (БСПТ), встроенных в ИМ (МЭО). В АСР реализована шаговая синхронизация

хода направляющих аппаратов, при которой в каждый момент регулятор воздействует на направляющий аппарат только одного дымососа, проводя поочередную перестановку направляющих аппаратов.

В схеме синхронизации выполнена блокировка, обеспечивающая работу одного направляющего аппарата в автоматическом режиме при переводе другого на дистанционное управление, а после его включения в автоматический режим устраняющая разницу в положение направляющих аппаратов по УП.

## **1.4 Постановка задачи**

### **1.4.1 Недостатки существующей системы**

Основным недостатком существующей системы является сам способ регулирования разрежения с помощью направляющих аппаратов дымососов. Его характеризует крайне низкая энергетическая эффективность. Учитывая, что речь идет о приводах большой мощности, следует ожидать существенной экономии потребления электрической энергии при переходе на вариант частотного регулирования скорости двигателей.

Помимо снижения потерь энергии, внедрение преобразователей частоты позволит

организовать плавные пуски и остановки машин, что существенно снизит нагрузки на электрические линии и механические конструкции, повысит надежность работы и долговечность оборудования;

повысить качество процессов регулирования разрежения (точность и быстродействие).

Вместе с тем, существующая система регулирования не должна быть демонтирована. Она должна выполнять функции резервной подсистемы и незамедлительно включаться в работу в случае отказа частотного преобразователя или во время работ по его наладке и настройке.

### 1.4.2 Эффективность применения частотного регулирования дымососов

Процесс преобразования электрической мощности  $P_{эл}$ , подводимой к электрическому двигателю дымососа, в полезную мощность  $P_{пол}$ , отдаваемую дымовым газом и расходуемую на создание разрежения в топке, показан на рис.5

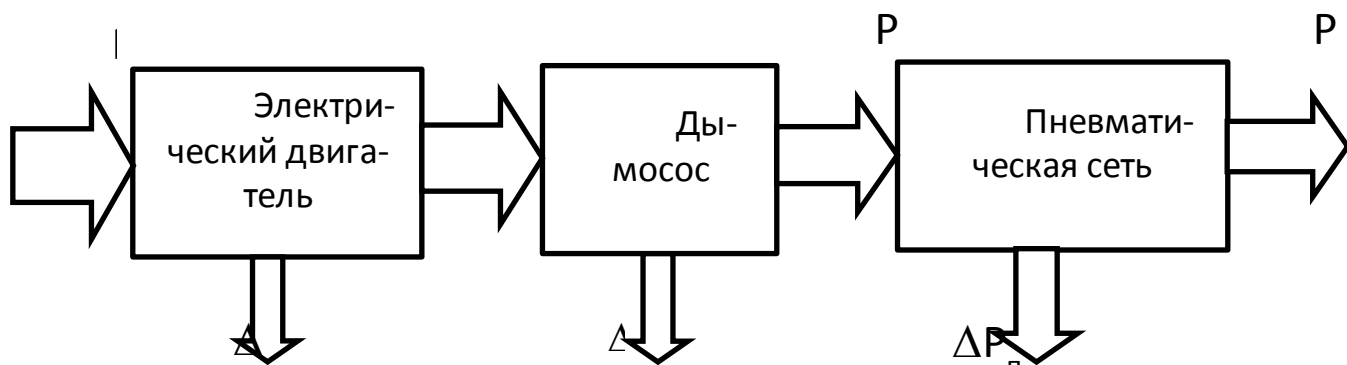


Рисунок 5 – Процесс преобразования энергии

На каждом этапе преобразование энергии сопровождается потерями. Рассмотрим возможности снижения потерь при частотном управлении.

1) Потери энергии в пневматической сети.

Существует два способа регулирования расхода среды:

дросселирование – регулирование на стороне «приемника». В нашем случае – это использование направляющего аппарата для создания дополнительного сопротивления потоку дымовых газов;

дозирование – регулирование на стороне «источника». В нашем случае – это изменение производительности дымососа с воздействием на частоту вращения ротора.

Приведем аналогию с электрической цепью (рис. 6).

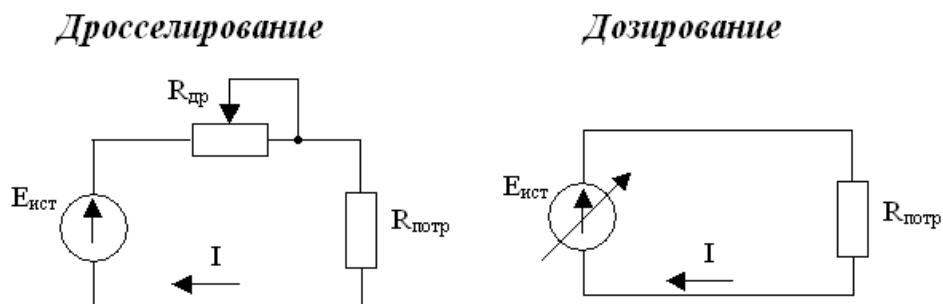


Рисунок 6 – Дросселирование и дозирование в электрической цепи

При дросселировании ток регулируется путем изменения дополнительного сопротивления, при дозировании – путем изменения ЭДС генератора.

В случае дросселирования ЭДС источника постоянна и равна произведению максимального тока (при нулевом дополнительном сопротивлении) на сопротивление потребителя:

$$E_{ист} = I_{макс} R_{потр} = const. \quad (1)$$

Мощность источника:

$$P_{ист} = E_{ист} I = I_{макс} R_{потр} \times I = P_{макс} I. \quad (2)$$

Таким образом относительная мощность, развиваемая источником, равна относительному току:

$$P_{ист}^* = I^*. \quad (3)$$

При дозировании ЭДС источника изменяется:

$$E_{ист} = IR_{потр} = var. \quad (4)$$

Мощность источника:

$$P_{ист} = E_{ист} I = R_{потр} \times I^2. \quad (5)$$

Относительная мощность равна квадрату относительного тока:

$$P_{ист}^* = I^{*2}. \quad (6)$$

На рис. 7 показаны зависимости относительной мощности от относительного тока при дросселировании и дозировании.

Максимальное снижение мощности и потерь достигается при  $I^* = 0,5$  и составляет 25%.

В пневматической сети дросселирование производится с помощью направляющего аппарата, создающего дополнительное падение давления (напора), дозирование – изменением частоты вращения (рис. 8).

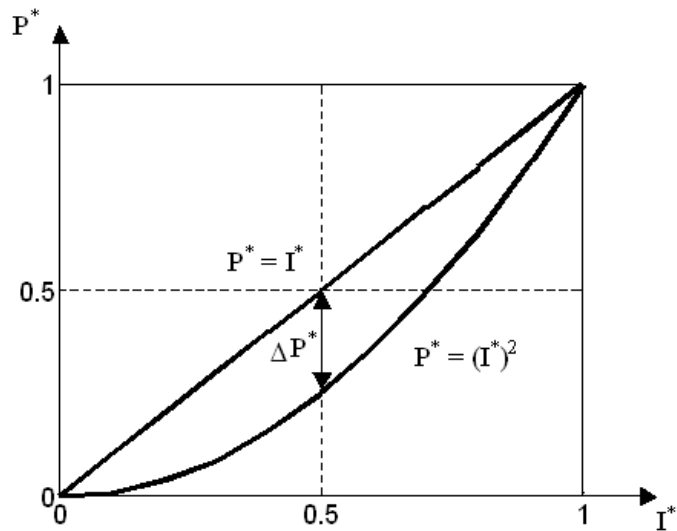


Рисунок 7 – Снижение мощности источника в электрической цепи при дозировании

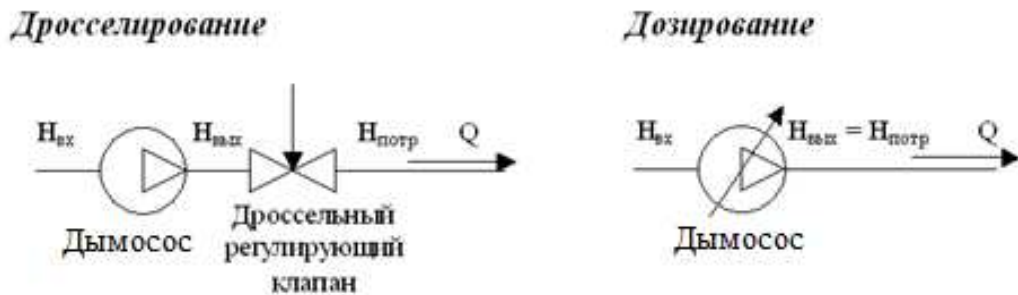


Рисунок 8 – Дросселирование и дозирование в пневматической сети

При постоянном напоре на дымососе относительная пневматическая мощность равна относительному расходу:

$$P_{пневм}^* = Q^* \quad (7)$$

(в реальности с ростом расхода напор несколько снижается).

В случае изменения скорости вращения относительные расход и напор центробежной машины равны относительной скорости и ее квадрату соответственно:

$$Q^* = \omega^*, \quad (8)$$

$$H^* = \omega^{*2}. \quad (9)$$

Следовательно, относительная мощность равна кубу относительной скорости или относительного расхода:

$$P_{пневм}^* = Q^{*3}. \quad (10)$$

На рис. 9 показаны зависимости относительной мощности дымососа от относительного расхода при дросселировании и дозировании.

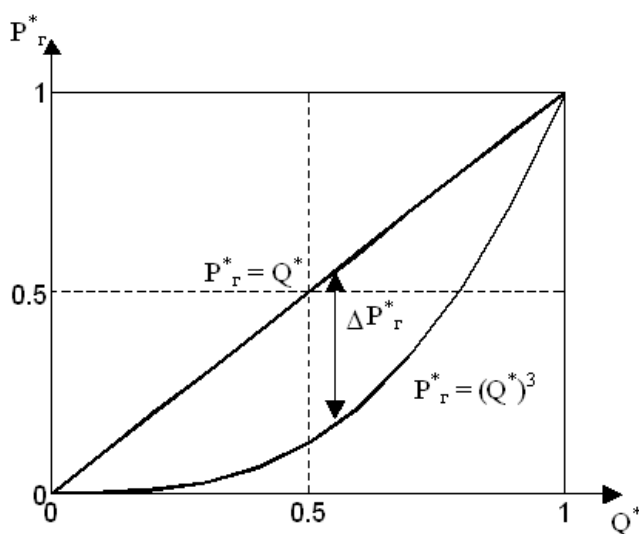


Рисунок 9 – Снижение мощности источника в пневматической сети при дозировании

Максимальное снижение мощности и потерь достигается при  $Q^* = 0,58$  и составляет 38,5%.

## 2) Потери энергии в дымососе.

На рис.10 показаны качественные зависимости относительного напора, потребляемой мощности и КПД центробежной машины от относительного расхода при неизменной частоте вращения ротора.

При снижении расхода до нуля КПД также уменьшается до нуля, а потребляемая машиной мощность снижается примерно в два раза.

В случае частотного регулирования имеет место семейство характеристик (для разных частот вращения), рис. 11.



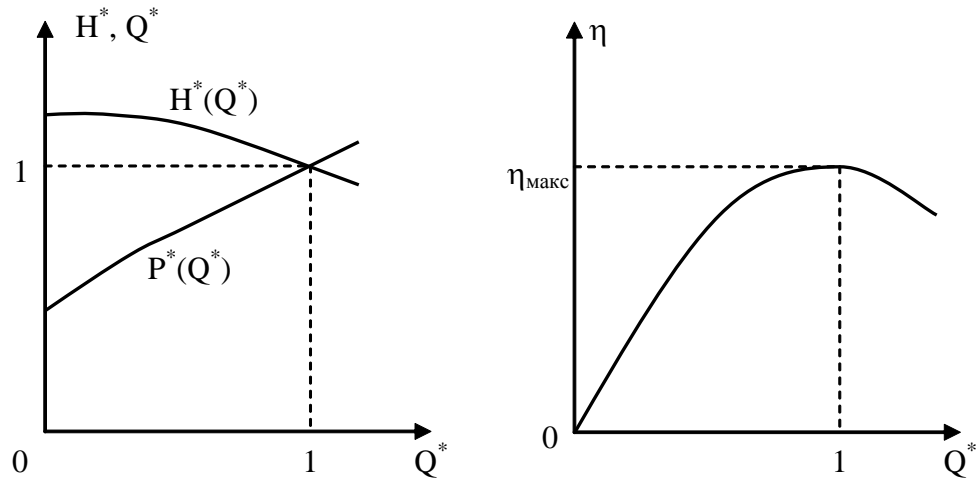


Рисунок 10 – Зависимости относительного напора, мощности и КПД центробежной машины от относительного расхода при неизменной частоте вращения

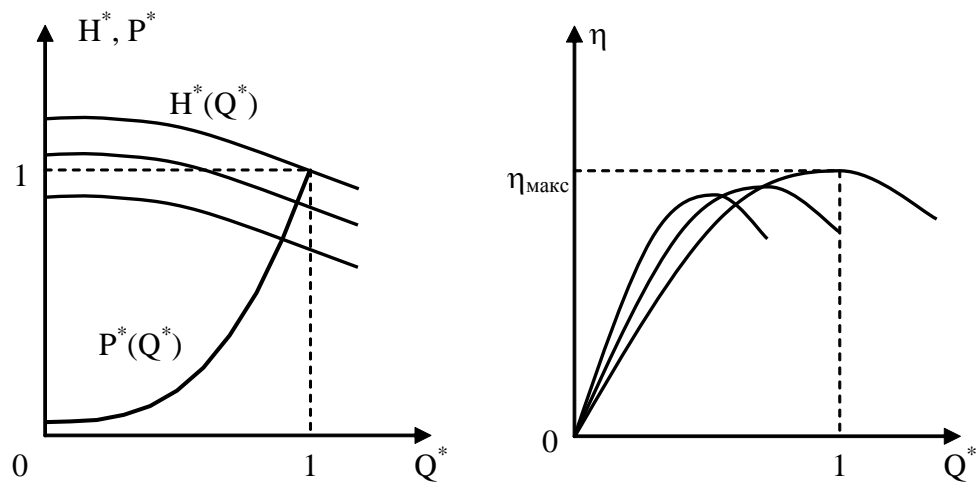


Рисунок 11 – Зависимости относительного напора, мощности и КПД центробежной машины от относительного расхода при частотном регулировании

С уменьшением частоты КПД насоса незначительно снижается, а потребляемая мощность падает практически до нуля.

### 3) Потери энергии в двигателе.

На рис. 12 показана примерная зависимость КПД асинхронного двигателя от нагрузки.

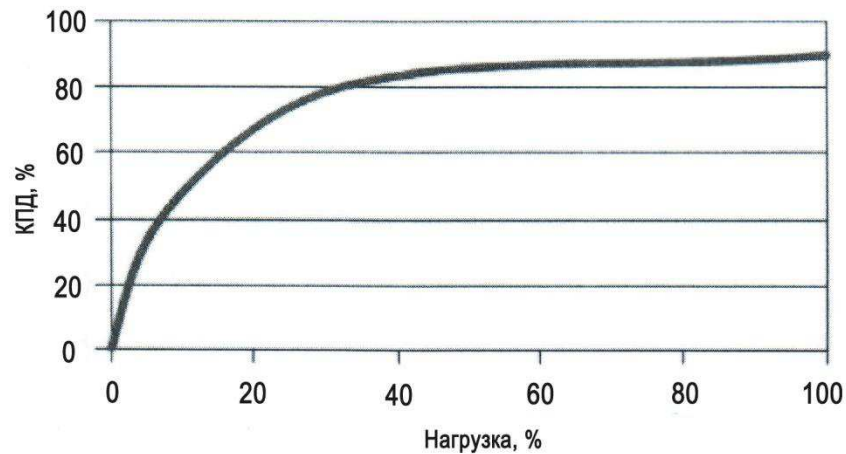


Рисунок 12 – Примерная зависимость КПД асинхронного двигателя от нагрузки

При уменьшении нагрузки до 50%, что в случае нерегулируемого привода соответствует снижению расхода до нуля, КПД двигателя уменьшается незначительно. Поэтому основной эффект энергосбережения связан не со снижением потерь в двигателе, а со снижением развиваемой им мощности.

В регулируемом приводе существенно снизить потери можно, используя «правильный» закон частотного управления. В основном используется два таких закона (рис. 13):

$U/f = \text{const}$ , обеспечивающий постоянную перегрузочную способность;

$U/f^2 = \text{const}$  – для механизмов с «вентиляторной» характеристикой, у которых момент сопротивления пропорционален квадрату скорости.

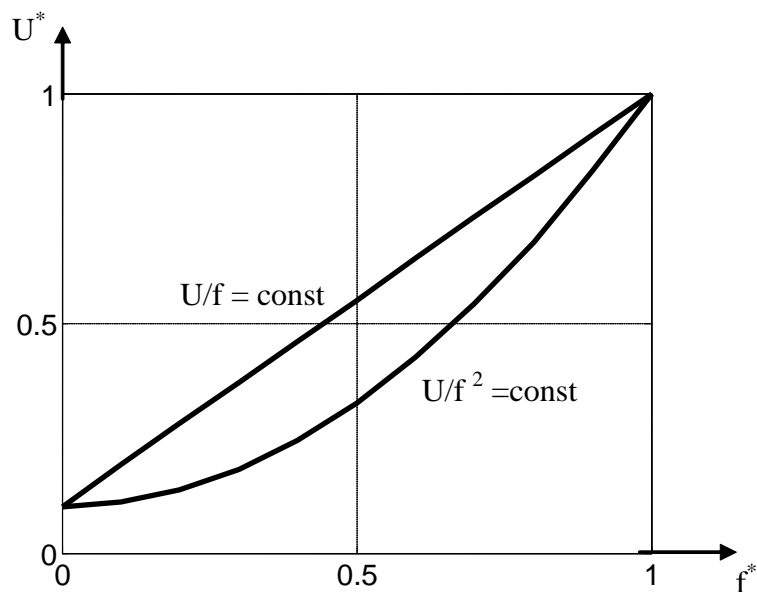


Рисунок 13 – Законы частотного управления

Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном управлении по законам  $U/f = \text{const}$  и  $U/f^2 = \text{const}$  и характеристики соответствующих нагрузок показаны на рис. 14

У дымососа, как центробежной машины, момент сопротивления квадратично зависит от скорости вращения, поэтому следует использовать закон  $U/f^2 = \text{const}$ , обеспечивающий снижение по сравнению с законом  $U/f = \text{const}$  напряжения на низких частотах, и, следовательно, – снижение потерь.

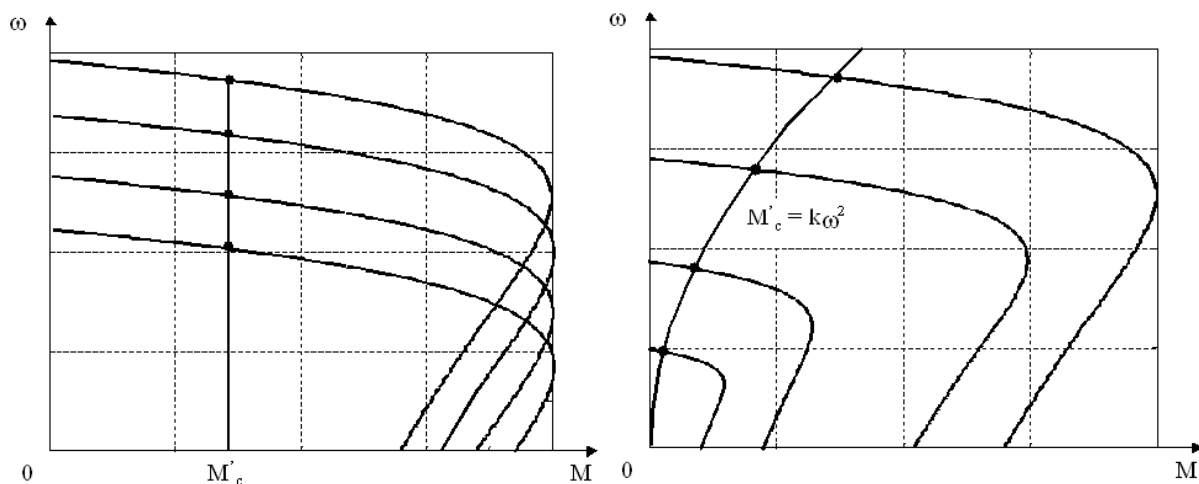


Рисунок 14 – Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном управлении по законам  $U/f = \text{const}$  и  $U/f^2 = \text{const}$

В целом снижение потребления электроэнергии при частотном управлении достигается путем:

снижение потерь в пневматической сети (в нашем случае – в газовом тракте);

увеличения КПД дымососа;

увеличения КПД двигателя за счет правильно выбранного закона частотного управления.

Общее уменьшение потребляемой мощности по разным оценкам может достигать 60% и более (рис. 15).

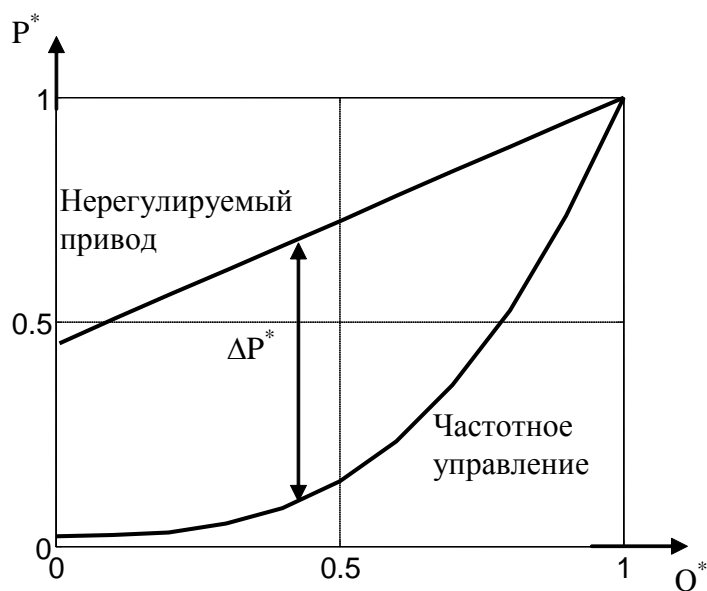


Рисунок 15 – Общее уменьшение потребляемой мощности

#### 1.4.3 Задачи модернизации системы управления

Задачами разработки являются:

- 1) разработка структурной схемы автоматизации, реализующих как традиционный способ регулирования разрежения с воздействием на направляющие аппараты, так и частотное регулирование частоты вращения дутьевых вентиляторов;
- 2) обзор рынка преобразователей частоты для двигателей напряжения питания 6кВ и выбор типа преобразователя;
- 3) выбор коммутирующей аппаратуры, измерительного преобразователя разрежения, органов индикации и ручного управления;
- 4) выбор программируемого логического контроллера;
- 5) разработка принципиальной схемы системы автоматизации (схемы соединений);
- 6) разработка программного обеспечения: прототипов программы для ПЛК и SCADA-системы.

## 2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Структурная схема согласно ГОСТ 2.702-2011– это схема, определяющая основные функциональные части системы автоматизации, их назначение и взаимосвязи. Для автоматических систем часто составляют скелетные структурные схемы.

Структурная схема автоматизации предназначена для определения системы контроля и управления ТП данного объекта и установление связей между щитами и пультами управления, агрегатами, операторскими рабочими постами. Структурная схема является основным проектным документом, в котором устанавливаются оптимальные каналы административно-технического и операторского управления. В них отражаются особенности ТП и ТСА при создании локальных систем контроля и автоматизации.

Структурная схема в общем виде отражает используемый комплекс технических средств автоматизации, принцип взаимодействия технологического объекта с устройством управления и оперативным персоналом.

На рис. 16 показана структурная схема системы проектируемой системы регулирования разрежения.

На рис. 16 обозначены:

SCADA – система сбора данных, визуализации и супервизорного управления на базе персонального компьютера;

ПЛК – программируемый логический контроллер, выполняющий программу автоматического регулирования разрежения;

ЩУ – щит управления, на котором установлены:

БУ1-1, БУ2-1 – блоки управления преобразователем частоты. Позволяют производить переключение режима управления (ручной/автоматический) и устанавливать задание по частоте в ручном режиме;

ПРУ1, ПРУ2 – переключатели режима работы системы регулирования разрежения (частотное управление/направляющий аппарат);

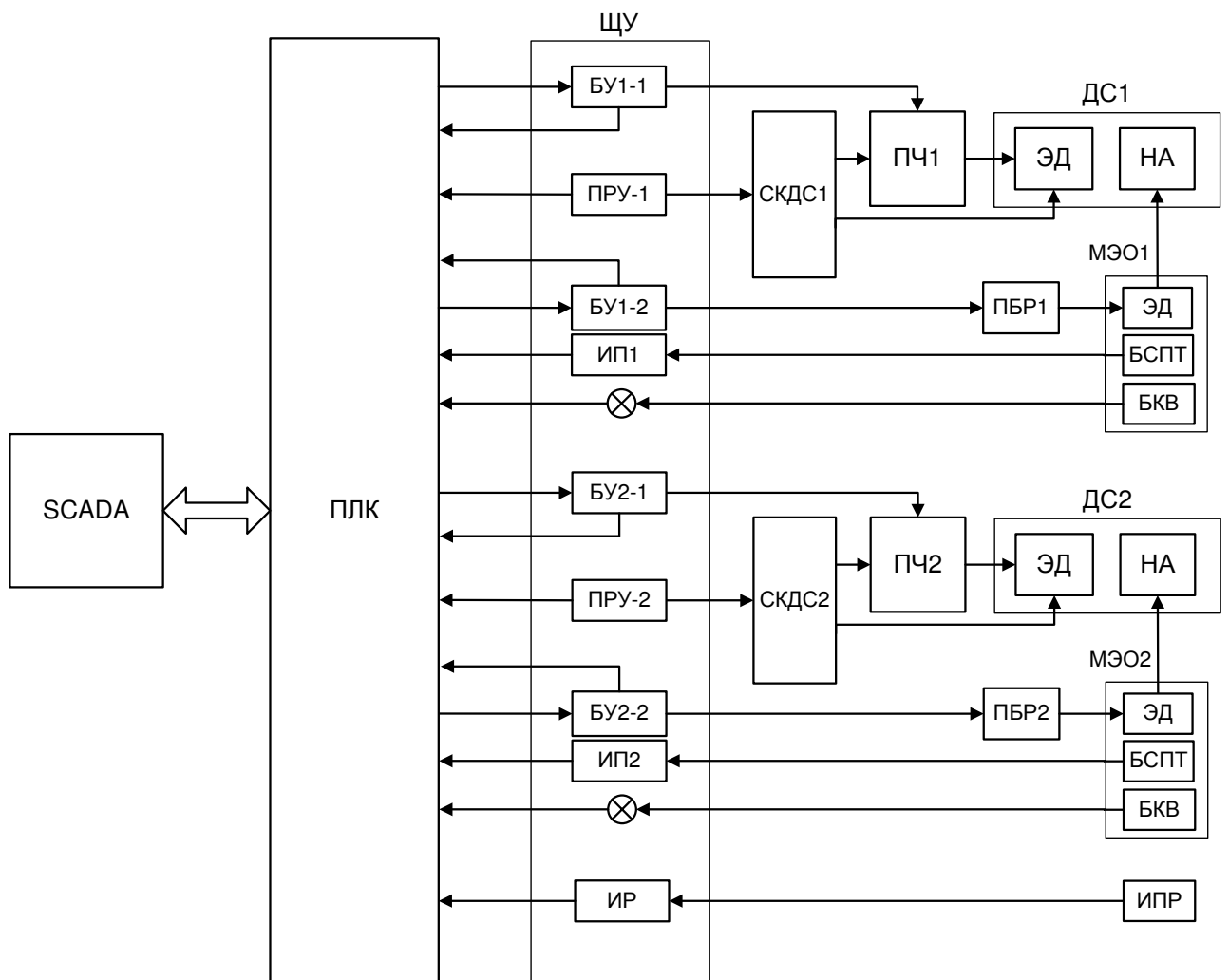


Рисунок 16 – Структурная схема автоматизации

БУ1-2, БУ2-2 – блоки управления направляющими аппаратами дымо-  
сосов. Позволяют производить переключение режима управления (руч-  
ной/автоматический) и формировать сигналы управления в ручном режиме  
(больше/меньше);

ПРУ-1, ПРУ-2 – переключатели режимов управления двигателей дымо-  
сосов (питание непосредственно от сети 6кВ или от преобразователей частоты);

индикаторы полного открытия/закрытия направляющего аппарата дымо-  
сосов;

ИП1, ИП2 – индикаторы положения направляющих аппаратов;

ИР – индикатор разрежения;

СКДС1,2 – системы коммутации дымо-  
сосов на базе высоковольтных вы-  
ключателей нагрузки, позволяющие подключать двигатели дымо-  
сосов непосредственно к сети 6кВ или к выходам преобразователя частоты;

ПЧ1, ПЧ2 – преобразователи частоты;

ДС1, ДС2 – дымососы, в состав которых входят:

ЭД – электродвигатели;

НА – направляющие аппараты;

МЭО1, МЭО2 – электроприводы электрические однооборотные направляющих аппаратов дымососов, включающие:

ЭД – электродвигатели;

БСПТ – блоки сигнализации положения токовые;

БКВ – блоки конечных выключателей;

ПБР1, ПБР2 – пускатели бесконтактные реверсивные;

ИПР – измерительный преобразователь разрежения.

Система автоматического управления должна обеспечивать:

– независимое переключение режимов регулирования разрежения (частное управление/направляющий аппарат) по каждому дымососу;

– переключение режима управления (ручной/автоматический) по каждому преобразователю частоты и направляющему аппарату;

– ручное управление преобразователями частоты и направляющими аппаратами;

– автоматическое регулирование разрежения с воздействием на преобразователь частоты или направляющий аппарат по каждому каналу в зависимости от режима управления дымососом;

– автоматическую синхронизацию положения направляющих аппаратов/частоты вращения дымососов.

## 3 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

### 3.1 Преобразователь частоты

#### 3.1.1 Типы высоковольтных преобразователей частоты

Для регулирования оборотов высоковольтных асинхронных двигателей в настоящее время традиционно используются два вида преобразователей частоты, которые устанавливаются между питающей сетью 50 Гц 6 кВ и статором электродвигателя [9].

1) преобразователь частоты с входным трансформатором, понижающим напряжение с 6 кВ до 0,4 кВ или 0,69 кВ, промежуточным транзисторным преобразователем частоты низкого напряжения и выходным трансформатором, повышающим напряжение в номинальном режиме до 6 кВ, рис. 17.

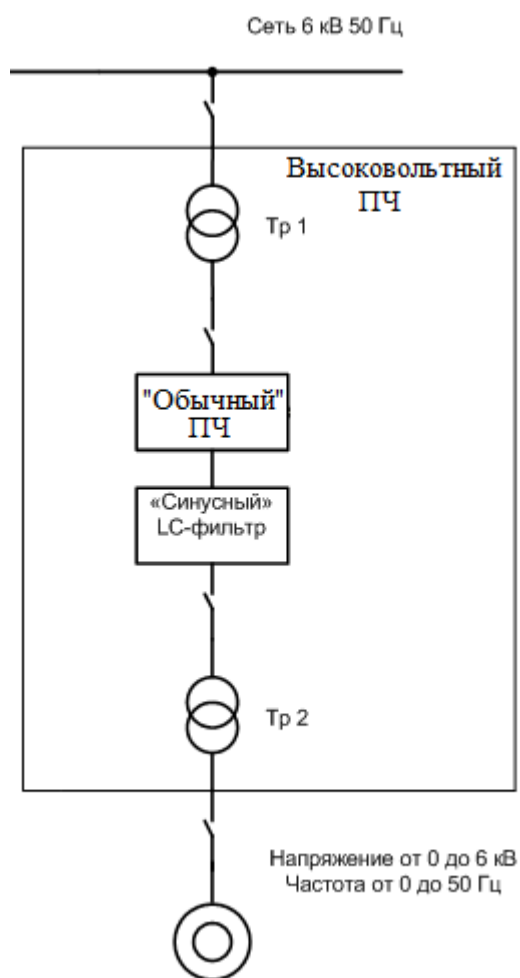


Рисунок 17 – Схема преобразователя частоты с промежуточным транзисторным преобразователем частоты низкого напряжения



Низковольтный преобразователь частоты имеет относительно простую структуру, строится на базе трехфазных транзисторно-диодных мостов и формирует выходное напряжение за счет синусоидальной широтно-импульсной модуляции. Выходное напряжение преобразователя частоты имеет сложный гармонический состав со значительной долей высокочастотных составляющих, поэтому между выходом низковольтного преобразователя частоты и выходным повышающим трансформатором обязательно устанавливается силовой «синусный» LC-фильтр, который устраняет высокочастотные пульсации напряжения на входе повышающего трансформатора.

2) преобразователь частоты с входным многообмоточным согласующим трансформатором и выходным многоуровневым транзисторным инвертором. Многоуровневый транзисторный инвертор содержит в каждой выходной фазе несколько транзисторно-диодных ячеек (H-мостов), которые соединены последовательно для получения номинального напряжения 6 кВ.

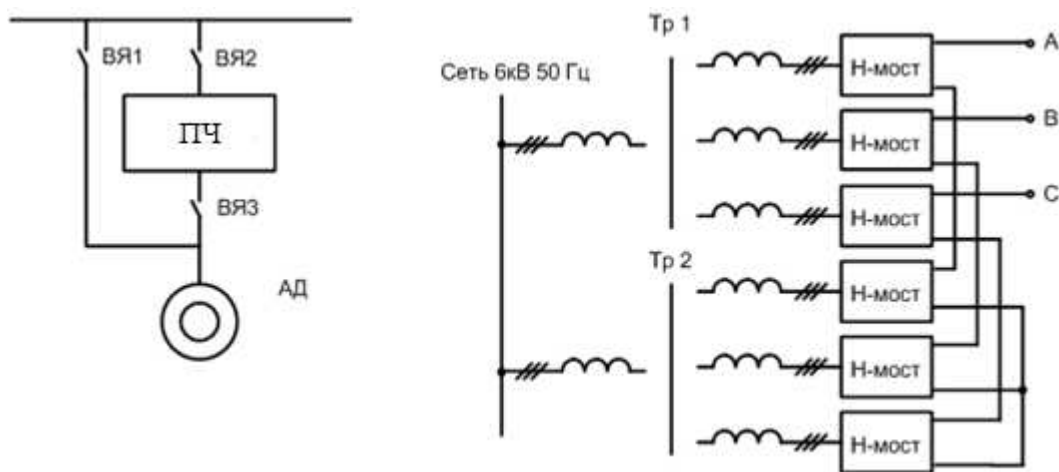


Рисунок 18 – Схема преобразователя частоты с выходным многоуровневым транзисторным инвертором

Количество ячеек в выходной фазе зависит от величины формируемого одной ячейкой напряжения и, в зависимости от допустимого напряжения используемых транзисторов, изменяется от двух до пяти. Каждая ячейка получает питание от изолированной трехфазной обмотки входного трансформатора и формирует часть выходного напряжения за счет синусоидальной широтно-импульсной модуляции. За счет фазового сдвига высокочастотных модулиро-

ванных сигналов отдельных ячеек и суммирования их напряжений преобразователь частоты формирует напряжение, близкое по форме к синусоидальному.

Сопоставляя между собой два вида преобразователей частоты можно выделить следующие особенности и отличия, влияющие на экономические показатели и стоимость ПЧ.

При наличии нескольких последовательных ячеек в каждой фазе преобразователя второго типа каждая отдельная ячейка формирует относительно небольшую часть выходного напряжения и пропускает через себя относительно небольшой ток, равный току фазы высоковольтного электродвигателя. Это позволяет использовать при построении ПЧ относительно недорогие транзисторно-диодные модули. В преобразователе первого типа также можно использовать модули с небольшим допустимым напряжением, но на значительно больший ток, поскольку преобразователь в звене низкого напряжения пропускает через себя полную мощность нагрузки при существенно меньшем напряжении и большем токе.

Стоимость транзисторно-диодных модулей в существенно большей степени зависит от допустимого напряжения, чем от величины тока. Поэтому стоимость комплектации одной ячейки высоковольтного ПЧ второго типа может быть близка к стоимости всего преобразователя частоты первого, выполненного на транзисторах того же класса. Поскольку для формирования высокого напряжения 6 кВ в преобразователе второго типа нужно соединить несколько ячеек последовательно, стоимость полупроводниковых комплектующих ПЧ может значительно превысить стоимость полупроводниковых комплектующих первого типа. С ростом мощности ПЧ первого типа приходится соединять ячейки параллельно и разница в стоимости преобразователей уменьшается.

В преобразователе частоты ПЧ второго типа используется только входные многообмоточные трансформаторы на полную мощность преобразователя частоты. Такие трансформаторы имеют повышенную стоимость и не могут быть заменены на обычные серийные трансформаторы. В преобразователе ПЧ второго типа используется два трансформатора на входе и выходе ПЧ на пол-

ную мощность электродвигателя, но эти трансформаторы, как правило, простые, серийные трехфазные трансформаторы с относительно небольшой стоимостью. Отмеченные выше отличия двух типов преобразователей частоты приводят к существенной разнице их стоимости, которая примерно в два раза меньше у двухтрансформаторного преобразователя частоты по сравнению с преобразователем первого типа той же мощности. Однако диапазон регулирования двухтрансформаторных схем ограничен соотношением (1:2), поскольку обычные трансформаторы плохо работают на низкой частоте.

### 3.1.2 Обзор рынка высоковольтных преобразователей частоты

В настоящее время круг рациональных технических решений для различных схем и видов ВПЧ с автономными инверторами тока (АИТ) и напряжения (АИН) в целом определился, но процесс их совершенствования непрерывно продолжается в связи с появлением новых силовых полупроводниковых элементов. В литературных источниках анализируется продукция таких фирм, как ABB, Siemens, Allen-Bradley, Toshiba, Mitsubishi, Robicon, Ansaldo, Alstom, ESTEL, GE, Hyundai и других [8].

Топология и принципы управления инверторами в настоящее время определяются современными силовыми полупроводниковыми элементами нового типа (IGBT, GTO, IGCT, SGCT), а также различными видами ШИМ (широтно-импульсной модуляции). Например, ШИМ со «слежением» (релейного типа), программная ШИМ с избирательным подавлением высших гармоник, многоуровневая ШИМ, ШИМ в комбинации с амплитудно-импульсной модуляцией и другие.

Стремление получать на выходе инверторов ток и напряжение для питания электродвигателя с меньшим количеством гармонических составляющих, определило, по мнению авторов, несколько подходов производителей к построению инверторов [10]. Например, известны инверторы с тремя уровнями напряжения (3-level) и коммутацией в «звезду» (с фиксированной нулевой точкой или фиксированной нейтралью (Neutral-Point Clamped – NPC)), либо с че-

тырьмя уровнями напряжения (4-level). Следующим шагом в улучшении формы выходного напряжения инверторов является выполнение их многоуровневыми (multi-level). ВПЧ с такими инверторами в различных модификациях выпускают Robicon, Toshiba, Mitsubishi Electric, GE. В этом случае наиболее сложным элементом ВПЧ является входной трансформатор.

В работе [10] сформулированы направления работ, необходимых для создания надежных высоковольтных электроприводов с регулируемой выходной частотой. Это обеспечение электромагнитной совместимости автономного инвертора с асинхронным двигателем и системой электроснабжения; обеспечение соответствия показателей качества электроэнергии действующим стандартам; оптимизация параметров высоковольтных вентилях, состоящих из последовательно соединенных нескольких силовых полупроводниковых приборов нового поколения; диагностика вентиляхного оборудования преобразователя, обеспечивающая превентивный контроль силовой схемы; совершенствование функций микропроцессорного контроллера; совершенствование тест-контроля элементов оборудования и выходного контроля преобразователей частоты; стимулирование применения новых конструкционных материалов, оптоэлектроники, совершенствование системы охлаждения силовых полупроводниковых приборов.

ABC Холдинг сообщает о разработанных высоковольтных преобразователях частоты серии ABS-DRIVE для регулирования скорости асинхронных и синхронных электродвигателей, удовлетворяющих самым жестким требованиям стандарта IEEE 519 1992 относительно гармонического искажения тока и напряжения. Преобразователи частоты ABS-DRIVE рассчитаны на работу с синхронными и асинхронными электродвигателями мощностью до 5 000 кВт и наиболее эффективны при работе на низких скоростях.

Структурно частотные преобразователи состоят из интегрированного входного трансформатора, секций силовых ячеек и секций микроконтроллерного оборудования. На напряжения 6 и 6,6 кВ используются 15, 18 или 21 ячейка, соединенные последовательно по 5, 6 или 7 штук в каждой фазе. На напряжения 10 и 11 кВ используются 24 или 27 ячеек, соединенных последовательно по

8 или 9 штук в каждой фазе. Благодаря использованию многообмоточного входного трансформатора и «многоячейной» структуре силовой схемы потребляемый преобразователем частоты ток имеет практически синусоидальную форму [10], что отвечает требованиям ГОСТ 13109-97 к качеству сети и ГОСТ Р 51524-99 по электромагнитной совместимости, при этом коэффициент электрической мощности превышает 95 % во всем скоростном диапазоне без использования внешних конденсаторов. Кроме того, не происходит перегрузки по реактивной мощности питающих линий, выключателей и трансформаторов. Приводы ABS-DRIVE предотвращают «перекрестные искажения», возникающие в результате взаимодействия с другими преобразователями частоты, выпрямительными устройствами и так далее, подключенными к той же сети электроснабжения.

Высоковольтные многоуровневые преобразователи частоты (ПЧВМ) фирмы ЗАО «ЭЛЕКТРОТЕКС» предназначены для бесступенчатого регулирования скорости асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором различных приводных механизмов. В состав преобразователя частоты серии ПЧВМ входит входной сухой многообмоточный трансформатор, многоуровневый высоковольтный преобразователь частоты и шкаф управления и защиты. Управление двигателем скалярное – по характеристике  $U/f$ , задаваемой 8 точками. Регулирование прямое частотное или ПИД-регулирование. Заявлены следующие преимущества: подключение напрямую к сети 6000 В; высокий коэффициент мощности (0,95) во всем диапазоне скоростей; КПД не менее 0,98; синусоидальная форма входного и выходного тока и напряжения; исключена установка дополнительных дорогостоящих входных и выходных фильтров; реализуется функция «подхвата» при глубоких и длительных снижениях напряжения в сети электроснабжения.

Высоковольтные частотные преобразователи PowerFlex 7000 производит Rockwell Automation для управления высоковольтными асинхронными и синхронными двигателями напряжением 2,4...10,0 кВ в диапазоне мощностей 250...24000 кВт.

Высоковольтные частотно-регулируемые приводы HYUNDAI серии N5000 предназначены для плавного пуска и регулирования скорости вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью 155...3930 кВт с номинальным напряжением 3, 6 и 10 кВ. Данные преобразователи оборудованы полным векторным контролем. Векторное регулирование позволяет управлять двигателем, когда нет четкой зависимости между моментом на валу и скоростью вращения. Этот метод управления позволяет получить расширенный диапазон регулирования частоты при номинальных моментах или даже при кратковременных перегрузках до 150-200 % от номинального момента. Следует отметить, что векторный метод работает оптимально, если введены правильно паспортные величины двигателя и успешно прошло его автотестирование. Векторный метод реализуется путем сложных расчетов, производимых микропроцессором с использованием информации о выходном токе, частоте и напряжении. В инверторе используются биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ или IGBT) с многоуровневой ШИМ-модуляцией и минимальным коэффициентом гармоник (менее 4 %).

В работах [7, 12, 24] приводятся результаты исследований электромагнитных процессов при переключениях в высоковольтных тиристорных инверторах. Предлагаются способы защиты от перенапряжений при коммутациях.

Общие вопросы теории регулируемого электропривода различных механизмов рассмотрены в работах [10, 12, 24].

Опыт применения, как высоковольтных частотных преобразователей, так и преобразователей низкого напряжения рассмотрен в работах [13, 12]. В основном, в приведенных источниках рассматриваются вопросы энергосбережения. Отмечается, что современные преобразователи частоты позволяют анализировать пусковые и рабочие характеристики электродвигателя, отслеживать изменения в работе исполнительных механизмов в течение срока их эксплуатации, что значительно увеличивает ресурс работы электродвигателей и исполнительных механизмов в целом.

Обзор современного российского рынка преобразователей частоты для электропривода приведен в работах [12, 24]. В странах СНГ производителями оригинальных высоковольтных преобразователей являются ОАО «Электровыпрямитель», «Триол».

ОАО «Электровыпрямитель» выпускает новую серию высоковольтных преобразователей частоты, выполненных по двухтрансформаторной схеме с использованием низковольтных ПЧ «Омега». Входной трансформатор преобразует входное напряжение (3 фазы, 6000 В) в пониженное выходное напряжение (3 фазы, 380 В). Силовая часть ПЧ реализована на современных IGBT и диодно-тиристорных модулях, выпускаемых ОАО «Электровыпрямитель». Серия частотно-регулируемых электроприводов РЭН2В на базе двухтрансформаторной схемы (мощность – 160...3200 кВт) предназначена для регулирования частоты вращения асинхронных и синхронных двигателей с напряжением питания 3, 6, 10 кВ. Преобразователи частоты комплектуются входным (сетевым) понижающим и выходным повышающим трансформаторами. Для наращивания мощности преобразователей РЭН2В использовано параллельное соединение группы низковольтных преобразователей. В преобразователях РЭН2В полностью решены специфические вопросы управления и защиты высоковольтной части, равномерного распределения нагрузки между группой низковольтных преобразователей, работы на трансформаторную нагрузку.

Электроприводы с использованием ПЧ Триол АТ03 предназначены для управления мощными производственными механизмами (400 - 2500 кВт), оснащенными высоковольтными асинхронными двигателями. Электроприводы Триол АТ03 выполнены по двухтрансформаторной схеме и в них реализованы оптимизированные алгоритмы высокочастотного ШИМ-управления.

На основе анализа известных схем ПЧ авторы статьи [7] считают, что особый интерес представляет «двухтрансформаторная» схема, содержащая последовательно включенные элементы: понижающий трансформатор – низковольтный выпрямитель - инвертор - повышающий трансформатор - электродвигатель. Основным преимуществом подобного решения является возможность

применять стандартное оборудование, серийно выпускаемое большим количеством отечественных предприятий.

Из отечественных разработок нужно выделить преобразователи ПЧИИ, инженерной компании «Технорос» (Санкт-Петербург). Высоковольтные преобразователи частоты серии ПЧИИ предназначены для регулирования частоты вращения механизмов с приводными двигателями напряжением 6 и 10 кВ и мощностью от 1 до 10 МВт.

Анализируя приведенную литературу можно сделать следующие выводы:

1. Из приведенных публикаций следует, что в настоящее время большинство ВЧП имеют типовые структуры с инверторами тока или напряжения;

2. Приведенных публикаций следует, что структура ВЧП в основном определена как с инверторами тока, так и с инверторами напряжения.

3. Проблема электромагнитной совместимости ВЧП с двигателем и питающей сетью решается выбором такой структуры преобразователя и управления им с помощью разнообразных ШИМ, при которой добиваются практически синусоидальных входных и выходных токов и напряжений.

4. Существует довольно большое количество уже разработанных и поставляемых под заказ ВПЧ для управления асинхронными и синхронными двигателями. Чаще всего это продукция иностранных производителей. Сравнение ВЧП отечественных и импортных производителей показывает, что импортные преобразователи, в целом, являются более надежными. Вместе с тем, в большинстве случаев, они являются функционально избыточными, и имеют более высокую стоимость. Можно сказать, что отечественные ПЧ уступают импортным по качеству и надежности, выигрывая в стоимости.

5. Возросшее внимание отечественных разработчиков силовой электроники к проблемам конструирования ВЧП позволяет надеяться, что разрыв в качестве и надежности импортных и отечественных преобразователей будет неуклонно сокращаться. Например, московская компания «Л-Старт» занимается разработкой и производством ВЧП, которые по техническим и эксплуатаци-



онным параметрам не уступают аналогичным устройствам японских и европейских производителей, а по ряду характеристик превосходят их.

В таблице 3 приведена информация о высоковольтных преобразователях частоты, выпускаемых в России.

Таблица 3 – Высоковольтные преобразователи частоты

Марка	Производитель	Схема	Диапазон мощностей	Коэффициент мощности по входу	Байпас преобразователя
ВЧРП	НТЦ «Приводная техника», Москва	с многообмоточным трансформатором и IGBT-ячейками	250 – 5000 кВт	0,96	нет
Геркулес	НПП «Измерительные технологии СПб», Санкт–Петербург	с многообмоточным трансформатором и IGBT-ячейками	180 – 7100 кВт	0,97	да
Эратон – В	ЗАО «ЭРА-СИБ», Новосибирск	с многообмоточным трансформатором и IGBT-ячейками	до 5000 кВт	0,95	да
ABS-Drive	ОАО «ВНИИР», Чебоксары	с многообмоточным трансформатором и IGBT-ячейками	280 – 8000 кВт	0,96	да
СТА-В8.VC	ЗАО "Электротекс"	двухтрансформаторный	200 кВт – 1000кВт	0,9	нет
СТА-В9.HVI	ЗАО "Электротекс"	с многообмоточным трансформатором и IGBT-ячейками	315 – 8000 кВт	0,97	да
ПЧИН	«Технорос» (Санкт-Петербург)	двухтрансформаторный	1000 кВт – 10000кВт	нет данных	нет данных
РЭН2В	ОАО «Электровыпрямитель», Саранск	двухтрансформаторный	160–3200 кВт	нет данных	нет данных
Триол АТ03	Корпорация «Триол», Москва	двухтрансформаторный	400 - 2500 кВт	0,95	нет

### 3.1.3 Выбор высоковольтного преобразователя частоты

Выбор высоковольтного преобразователя частоты представляет собой достаточно сложную задачу, учитывая то обстоятельство, что это достаточно дорогое оборудование и при этом производители и поставщики ни в одном из известных случаев не указывают его окончательную цену. Цена устанавливается

после определения комплектации и условий поставки в результате переговоров. В связи с этим здесь укажем лишь основные требования к преобразователю:

1) преобразователь должен быть построен по схеме с многообмоточным трансформатором и IGBT-ячейками. Основанием для данного выбора, несмотря на более высокую цену, являются:

полный диапазон регулирования частоты без снижения КПД и коэффициента мощности, а также ухудшения гармонического состава выходного тока на пониженных частотах;

лучшие массогабаритные характеристики;

оснащение таких преобразователей системами автоматического включения байпаса;

более высокий технический уровень по сравнению с двухтрансформаторными ПЧ;

2) преобразователь должен быть снабжен высоковольтными выключателями и системой автоматического включения байпаса, который включается в работу самим преобразователем в случае аварии или по команде общей системы управления. Это существенно упростит построение схемы;

3) преобразователь должен допускать управление частотой с помощью аналогового сигнала 4-20 мА. Все современные преобразователи эту возможность реализуют.

Сопряжение управляющей аппаратуры системы регулирования разрежения с преобразователем частоты будет реализовано с помощью следующих сигналов:

пуск в режиме частотного регулирования (дискретный выход аппаратуры управления);

задание частоты (4-20 мА);

отключение с переходом на байпас (дискретный выход аппаратуры управления);

авария преобразователя с переходом на байпас (дискретный вход аппаратуры управления).

В качестве варианта предлагается использовать преобразователь частоты «Геркулес» производства ООО «Научно-производственное предприятие «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СПб» [4].

Исходя из номинальной мощности и номинального напряжения двигателя дымососа выберем модель Геркулес ПЧ-ТТПТР-48-6к 6кВ, 500кВт, 48А.

В преобразователях частоты серии «Геркулес» используется технология последовательного соединения инверторных ячеек и фазорегулируемая многоуровневая широтно-импульсная модуляция (PWM).

Входное напряжение поступает на фазосдвигающий трансформатор, имеющий  $3N$  вторичных трёхфазных обмоток 690 В (где  $N$  - количество инверторных ячеек в каждой фазе). Каждая вторичная обмотка нагружена на отдельную инверторную ячейку, представляющую собой управляемый H-мост.

Выход первых инверторных ячеек фазы соединяется «Y», выход последних ячеек подключается к нагрузке. Система состоит из фазосдвигающего трансформатора, инверторных ячеек и системы управления, как показано на рис. 19.

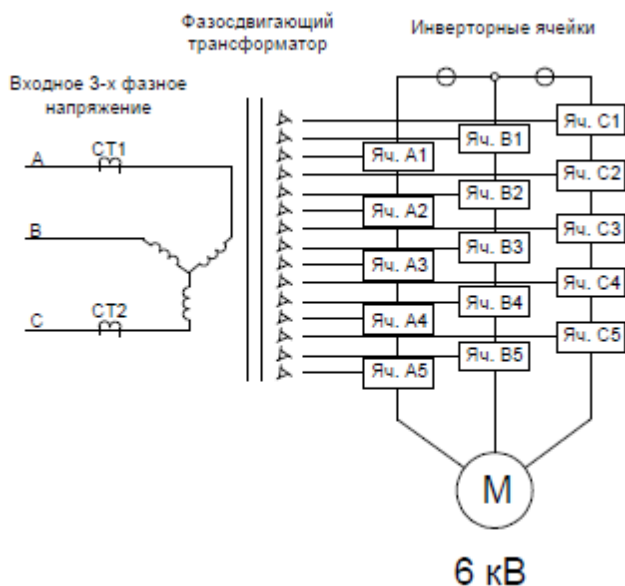


Рисунок 19 – Схема преобразователя частоты «Геркулес»

В состав преобразователя частоты серии «Геркулес» входят: шкаф фазосдвигающего трансформатора, шкаф инвертора и шкаф управления. Также в состав системы в соответствии с требованиями пользователя (опционально) мо-

гут входить шкафы байпасного переключения с ручным или автоматическим переключением, шкаф реактора синхронизирующего байпаса, система возбуждения, блок-модуль для размещения на открытом воздухе.

В нашем случае потребуется шкаф байпасного переключения с автоматическим переключением.

Шкаф байпасного переключения используется для обеспечения непрерывности производства и увеличения надежности системы. В случае, когда преобразователь неисправен, они обеспечивают запуск электродвигателя на частоте сети.

Вход шкафа (рис. 20) подключается к высоковольтному трехфазному напряжению, которое через контактор КМ1 (или разъединитель QS1) подключается к фазосдвигающему трансформатору. Выход шкафа байпасного переключения от шкафа инвертора через контактор КМ2 (или разъединитель QS22) соединяется с электродвигателем.

Шкаф байпасного переключения имеет обводной контактор КМ3 (или разъединитель QS21), переключающий на частоту сети. С помощью этого контактора (разъединителя), в случае какой-либо неисправности преобразователя частоты, для обеспечения устойчивой работы системы, пользователь может переключить электродвигатель на питание от сети. Внутри шкафа байпасного переключения контакторы КМ2 и КМ3 обладают функцией взаимоблокировки через логическую схему (электрическая блокировка), разъединители QS21, QS22 заблокированы механически для недопущения подачи сетевого напряжения на выход преобразователя частоты.

В шкафу автоматического байпасного переключения имеются разъединители QS1, QS2 для изолирования системы частотного регулирования от высокого напряжения и создания видимого разрыва цепи, когда электродвигатель работает на частоте сети.

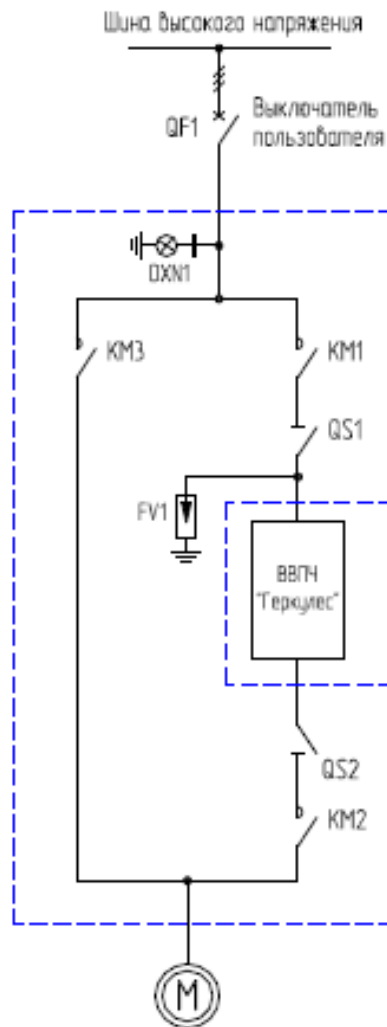


Рисунок 20 – Схема подключения шкафа автоматического байпасного переключения

Схема подключения цепей управления преобразователя показана на рис. 21.

Преобразователь имеет:

- 16 дискретных входов с гальванической развязкой;
- 3 аналоговых входа напряжения или тока;
- 4 аналоговых выходов (изолированных);
- 21 дискретный выход, в том числе один электронный ключ и 20 реле с переключающими контактами.

Все входы и выходы программно конфигурируются на выполнение различных функций.

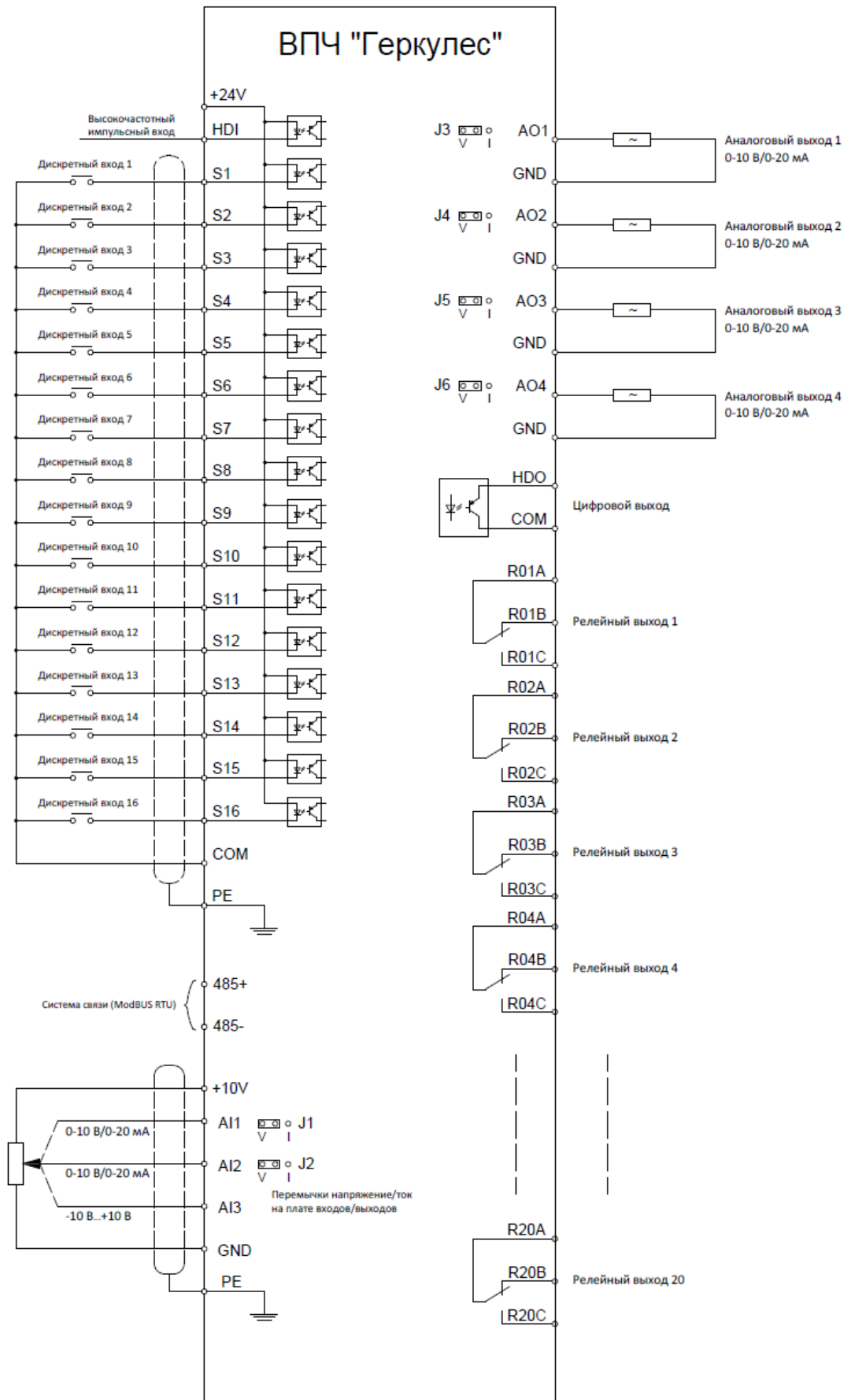


Рисунок 21 – Схема подключения цепей управления преобразователя

### 3.2 Механизмы электрические однооборотные приводов направляющих аппаратов

Для приведения в движение направляющих аппаратов дымососов выберем механизмы электрические однооборотные (МЭО) модификации МЭО-250/63-0,63-99К [11], оснащенные блоком сигнализации положения токовыми (БСПТ) с выходным сигналом 4-20 мА. Основные технические характеристики механизма приведены в табл. 4, схема подключения – на рис. 22.

Механизмы предназначены для перемещения регулирующих, запорно-регулирующих и запорных органов в системах автоматического регулирования технологическими процессами (АСУ ТП) в соответствии с командными сигналами управляющих устройств.

Таблица 4 – Основные технические МЭО-250/63-0,63-99К

Номинальный крутящий момент на выходном валу, Н×м	Номинальное время полного хода выходного вала, сек	Номинальный полный ход выходного вала, об.	Потребляемая мощность, Вт не более	Тип электродвигателя
250	63	0,63	260	ЗДСТР-135-4.0-180, 180 об/мин, 380 В, 60 Гц, 1,65 А

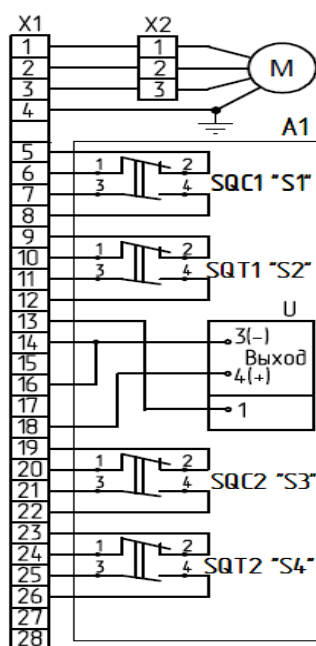


Рисунок 22 – Схема подключения МЭО-250/63-0,63-99К

### 3.3 Измерительный преобразователь разрежения

В качестве измерительного преобразователя разрежения выберем преобразователь измерительный давления-разрежения Сапфир-22М-ДИВ [15] модели 2310 с диапазоном измерения  $\pm 0,2$  кПа с пределом допускаемой основной погрешности  $\pm 0,5\%$  и выходным сигналом 4-20 мА, рис. 23.

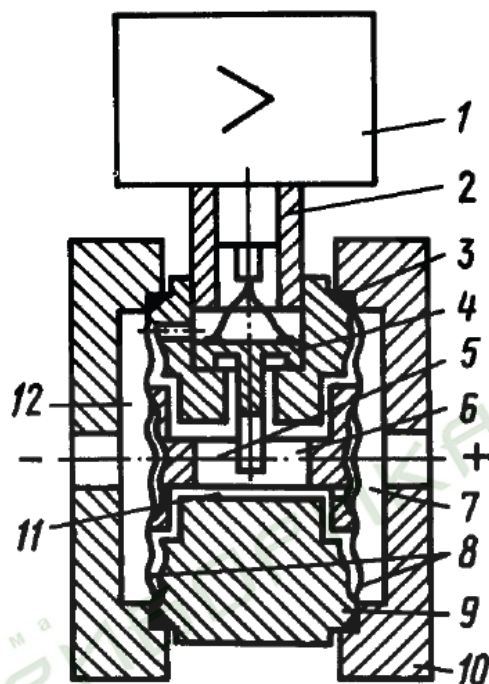


Рисунок 23 – Схема преобразователя Сапфир-22М-ДИВ

Тензопреобразователь 4 мембранно-рычажного типа размещен внутри основания 9 в замкнутой полости 11, заполненной кремнийорганической жидкостью, и отделен от измеряемой среды металлическими гофрированными мембранами 8. Мембраны 8 приварены по наружному контуру к основанию 9 и соединены между собой центральным штоком 6, который связан с концом рычага тензопреобразователя 4 с помощью тяги 5. Фланцы 10 уплотнены прокладками 3. Воздействие измеряемой разности давлений подается в камеру 7, в (камера 12 сообщена с окружающей атмосферой) вызывает прогиб мембран 8, изгиб мембраны тензопреобразователя 4 и изменение сопротивления тензорезисторов. Электрический сигнал от тензопреобразователя передается из измерительного блока в электронное устройство 1 по проводам через гермоввод 2.



Измерительный блок выдерживает без разрушения воздействие односторонней перегрузки рабочим избыточным давлением. Это обеспечивается тем, что при такой перегрузке одна из мембран 8 ложится на профилированную поверхность основания 9.

Схема электрическая соединений разъема для преобразователя с выходным сигналом 4-20 мА по четырехпроводной линии связи, которая и будет использована, показана на рис. 24.

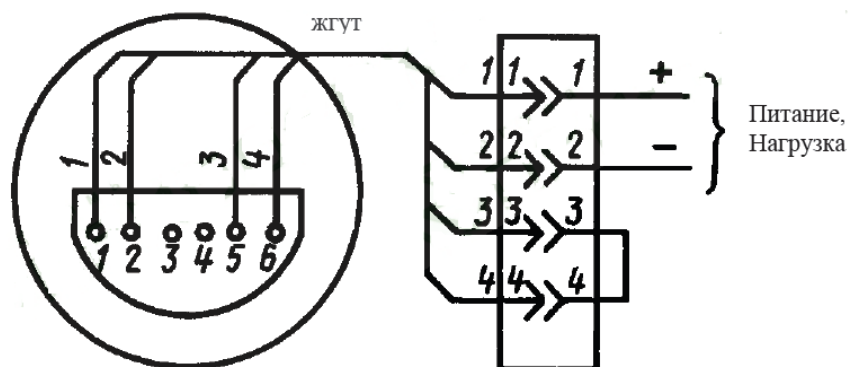


Рисунок 24 – Схема подключения Сапфир-22М-ДИВ

### 3.4 Программируемый логический контроллер

Для автоматического управления процессом регулирования разрежения выберем современный программируемый контроллер SIMATIC S7 1200 фирмы Siemens [1].

Компактный модульный программируемый контроллер, полностью отвечающий требованиям концепции Totally Integrated Automation:

широкие функциональные возможности и высокая производительность при относительно низкой стоимости;

решение задач автоматизации низкого и среднего уровня сложности;

построение локальных узлов автоматизации, работа в составе комплексных распределенных структур управления с интенсивным сетевым обменом данными;

работа в реальном масштабе времени, мощные коммуникационные возможности;

широкий спектр модулей и плат различного назначения;

исключительно простая установка, программирование и обслуживание;

соответствие требованиям стандартов ГОСТ-Р, VDE, UL, CSA и FM (класс I, категория 2; опасные зоны групп А, В, С и D, Т4А). Система управления качеством продукции сертифицирована по ISO 9001;

мощная система программирования, конфигурирования и технической диагностики.

В составе контроллера задействуем:

модуль CPU 1215C модификации 6ES7 215-1BG31-0XB0, технические характеристики приведены в табл.5, схема подключения – на рис. 25;

сигнальный модуль дискретного ввода-вывода SM 1223 модификации 6ES7 223-1PH30-0XB0, технические характеристики приведены в табл. 6, схема подключения – на рис. 26;

сигнальный модуль аналогового ввода SM 1231 модификации 6ES7 231-4NF30-0XB01, технические характеристики приведены в табл. 7, схема подключения – на рис. 27.

Таблица 5 – Основные технические характеристики CPU 1215C модификации 6ES7 215-1BG31-0XB0

Параметр	Значение
Питание	~230В, 150 мА со всеми вариантами расширения
Рабочая память	100Кбайт
Встроенный источник питания	=24 В, 400 мА
Энергонезависимая память	10Кбайт
Загружаемая память	4Мбайт
Коммуникационный интерфейс	PROFINET, 10/100 Мбит/с, 2x RJ45
Встроенные каналы ввода-вывода дискретные входы: дискретные выходы: аналоговые входы: аналоговые выходы:	14 10 (2x5 реле) 2 (0-10 В) 2 (0-20мА)
Расширение: SB/SB/BB SM/CP SM	1 3 8

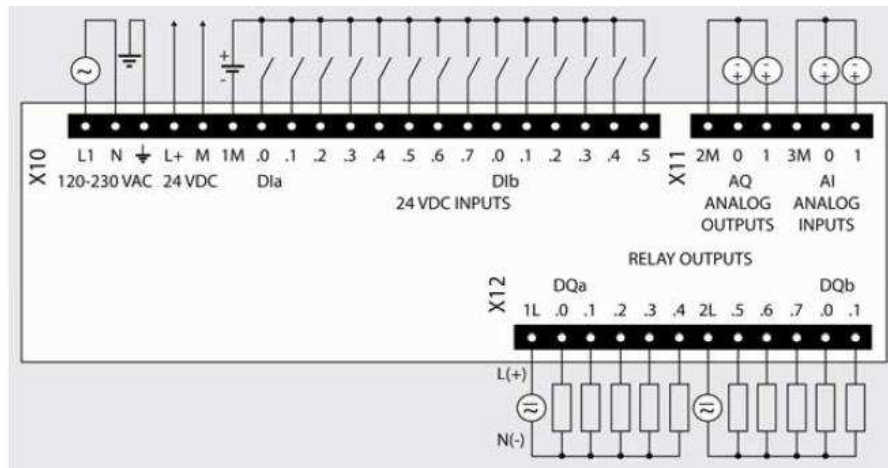


Рисунок 25 – Схема подключения CPU 1215C модификации  
6ES7 215-1BG31-0XB0

Таблица 6 – Основные технические характеристики SM 1223 модификации 6ES7 223-1PH30-0XB0

Параметр	Значение
Питание входных/выходных цепей	=24 В, 4 мА на входной канал, 11 мА на одну обмотку реле
Дискретные входы:	8 (2x4)
Дискретные выходы	10 (2x4 реле)

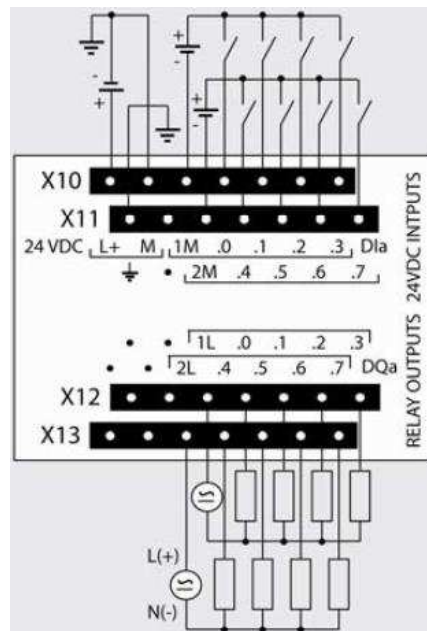


Рисунок 26 – Схема подключения модуля SM 1223 модификации  
6ES7 223-1PH30-0XB0

Таблица 7 – Основные технические характеристики SM 1231 модификации 6ES7 231-4HF30-0XB0

Параметр	Значение
Питание входных/выходных цепей	=24 В, 45мА
Аналоговые входы:	8 дифференциальных входов, 12 бит + знак. Настройка каждой пары каналов на измерение унифицированных сигналов напряжения или силы тока ±10 В/ ±2.5 В/ ±5 В, 9 МОм 0 -20 мА, 280 Ом

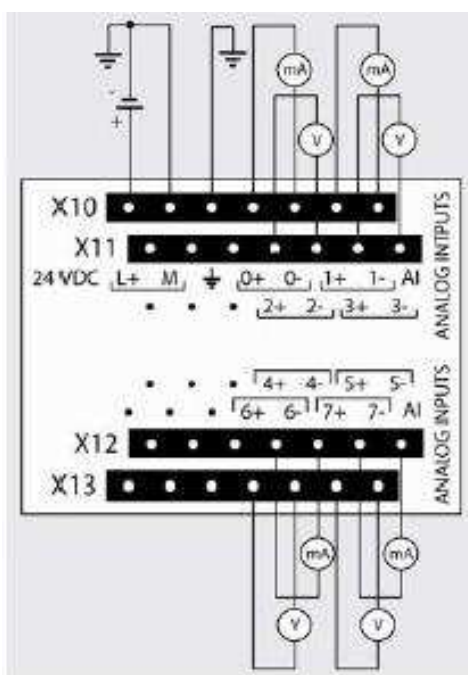


Рисунок 27 – Схема подключения модуля SM 1231 модификации 6ES7 231-4HF30-0XB01

### 3.5 Блоки управления

Для переключения режима управления (ручной/автоматический) и управления преобразователями частоты в ручном режиме выберем блок управления БРУ-7 [2].

БРУ-7 предназначен для использования в системах промышленной автоматизации производственных процессов в энергетике, металлургии, химической, пищевой и других отраслях промышленности и народном хозяйстве и содержит:

блок ручного задатчика аналогового сигнала;

цифровой индикатор технологического параметра, сигнала положения исполнительного механизма, в пределах от 0,0 до 100,0 % с возможностью масштабирования;

Максимальная потребляемая мощность при питании от сети 220В – не более 7ВА.

Блок управления имеет возможность ручного или дистанционного переключения управляющих цепей регулятора с автоматического режима управления на ручное и обратно. Устанавливается в пультах управления, мнемощитах, мнемосхемах и т.п.

Отличительной особенностью блоков ручного управления является возможность наблюдения на передней панели за контролируемым параметром при изменении задающего воздействия исполнительному механизму. Схема подключения блока показана на рис. 28.

Для переключения режима управления (ручной/автоматический) и управления электроприводами направляющих аппаратов дымососов в ручном режиме выберем блок управления БУ-21 [3].

БУ-21 применяется в схемах автоматического регулирования различных технологических параметров в качестве блоков управления, а также вспомогательного устройства к регулирующим приборам.

С помощью БУ21 выполняется переключение вида управления цепями нагрузки релейного регулятора с автоматического на ручное, либо от внешних приборов, фиксируемое с помощью галетного переключателя. Ручное управление осуществляется с помощью кнопочного переключателя «Больше»/ «Меньше» с самовозвратом. Имеется электрическая блокировка от одновременного включения переключателей «Больше»/«Меньше». Световая сигнализация осуществляется двумя индикаторами с кнопкой выключения индикации. Схема БУ21 приведена на рис. 29.

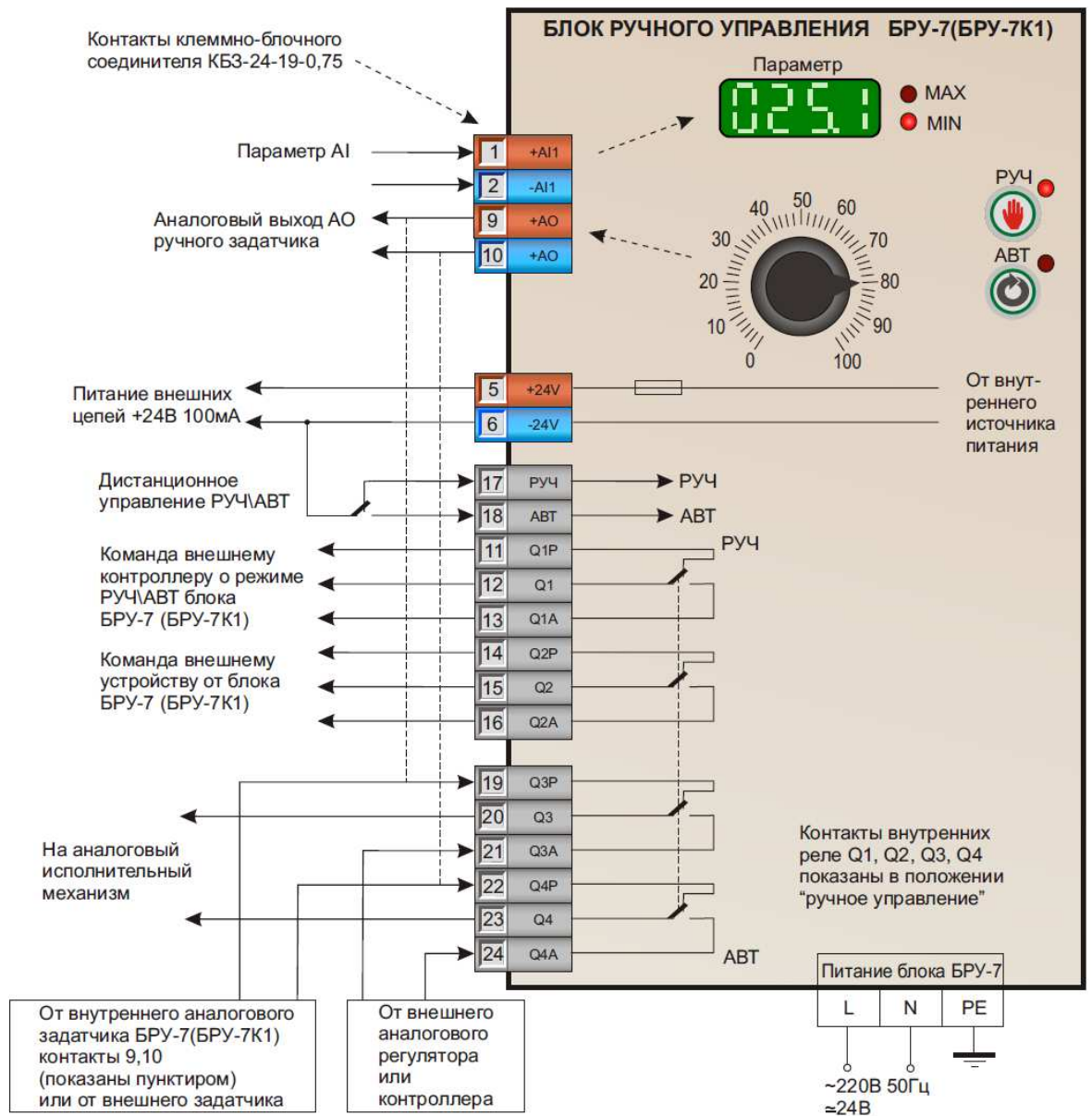


Рисунок 28 – Внешние цепи БРУ-7

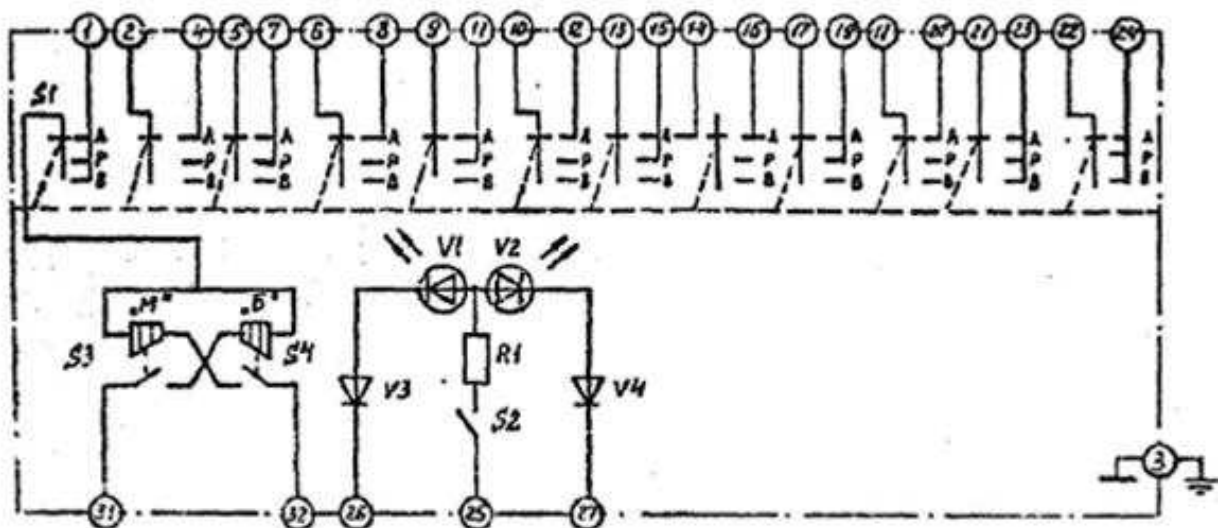


Рисунок 29 – Внешние цепи БУ-21

### 3.6 Блоки индикации аналоговых величин

Для индикации значений выходной частоты преобразователей частоты и положения направляющих аппаратов дымососов задействуем индикаторы токовой петли ИТП 11 («Овен») [22], рис. 30.



Рисунок 30 – Индикатор токовой петли

Прибор ИТП11 предназначен для измерения и индикации физических величин, преобразованной в унифицированный сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА.

Он может применяться в составе систем автоматизированного контроля и управления технологическими процессами в качестве основного или дополнительного индикатора.

Функциональные возможности прибора ИТП11:

измерение значений датчиков с унифицированным сигналом тока от 4 до 20 мА;

масштабирование измеренного значение входного сигнала от 4 до 20 мА;

позволяет вычислять квадратный корень для измерения расхода;  
сглаживает пульсации измеряемых параметров за счет встроенных,  
настраиваемых цифровых фильтров;  
защищает настройки паролем от несанкционированных изменений;  
индикация аварии в случае выхода измеренных значений за пределы от 4  
до 20 мА;  
питание от токовой петли (2-х проводная схема подключения).

Для индикации значения разрежения в верхней части топки парогенера-  
тора применим измеритель цифровой одноканальный Овен ИДЦ1 [22], рис. 31.



Рисунок 31 – Измеритель цифровой одноканальный

Основные характеристики прибора:

измерение температуры или другой физической величины (давления,  
влажности, расхода, уровня и т.п.) с помощью датчиков с унифицированным  
выходным сигналом тока или напряжения;

крупный 4-разрядный цифровой индикатор, размер цифр 40x20 мм;

масштабирование измеренного значения в нужные единицы измерения;

2 выхода типа К (транзистор) для сигнализации по П- и U-образной логи-  
ке.

потребляемая мощность не более 2ВА.

Схема подключения ИДЦ1 показана на рис. 32.



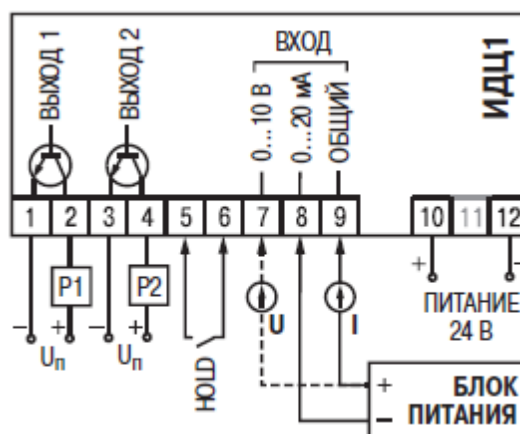


Рисунок 32 – Схема внешних цепей ИДЦ1

Для питания ИДЦ1, а также подключенных к нему сигнальных ламп задействуем блок питания БП15Б-Д2-24 мощностью 15 Вт с максимальным током нагрузки 0,63 А.

### 3.7 Устройства коммутации и сигнализации

Для коммутации вспомогательных цепей задействуем промежуточные реле серии RP [23], характеристики которой приведены в рисунках 33-35.

Рисунок 33 – Технические характеристики промежуточных реле

Характеристика	Модификации без ручного дублира (RP - 402/403/405/407AL RP - 402/403/405DL)	Модификации с ручным дублиром (RP - 402/403/405/407ALTU RP - 402/403/405DLTU)
Время включения (при $U_H$ )		не более 20 мс
Время выключения (при $U_H$ )		не более 20 мс
Диапазон рабочих температур		-55...+70 °С
Относительная влажность		35%...80% RH
Атмосферное давление		86...106 кПа
Светодиодный LED-индикатор срабатывания		есть
Ручное дублирование срабатывания	нет	есть
Механическая индикация срабатывания	нет	есть
Ударопрочность	10g (длительность попуолны синусоиды ударного импульса 11 мс)	
Виброустойчивость	10...55 Гц (удвоенная амплитуда 1,0 мм)	
Масса	не более 35 г	

Рисунок 34 – Электрические характеристики контактов

Характеристика	Постоянный ток (DC)	Переменный ток (AC)
Номинальные ток и напряжение коммутации	5 А при 30 В	5 А при 250 В
Минимальная коммутируемая нагрузка	1000 мВт (10 В/10 мА)	
Начальное сопротивление контактов	не более 100 мОм	
Материал контакта	серебряный сплав (AgSnO <sub>2</sub> )	
Электрический ресурс	не менее 10 <sup>5</sup>	
Механический ресурс (при 300 вкл./мин)	не менее 10 <sup>7</sup>	
Сопротивление пробоя между группами контактов	не менее 1000 В ~ при токе утечки 1 мА в течение 1 минуты	

Рисунок 35 – Электротехнические характеристики катушки

Характеристика	Постоянный ток (DC)	Переменный ток (AC)
Номинальное напряжение питания катушки $U_N$	12/24 В*	12/24/110/220 В*
Напряжение включения (при 25 °С)	не менее $0,75U_N$	не менее $0,80U_N$
Напряжение выключения (при 25 °С)	не более $0,10U_N$	не более $0,30U_N$
Предельное напряжение питания катушки (при 25 °С)	$1,10U_N$	
Мощность катушки	0,9 Вт	1,2 ВА
Сопротивление пробоя	не менее 1500 В ~ в течение 1 мин. (ток утечки 1 мА)	

Для наших целей выбраны реле RP 407 AL с катушками 220 В переменного тока и светодиодным индикатором.

Для управления преобразователями частоты выберем [22]

кнопки с LED подсветкой, зеленые, 220V AC/DC, 1NO MTB2-BW3363 – для перевода преобразователей в режимы «Частотное регулирование» и «Байпас», рис. 36;

кнопка грибовидная тяни-толкай, 1NC, красный, Ø40 мм, MTB2-BTZ124 – для экстренного отключения дымососа, рис. 36.

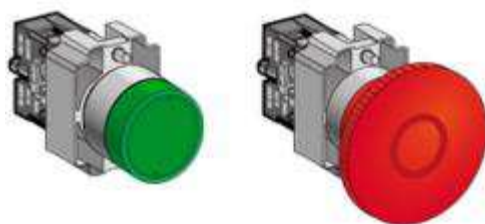


Рисунок 36 – Кнопки управления преобразователями частоты

Для индикации достижения направляющими аппаратами дымососов крайних положений, сигналов преобразователей частоты «Работа», «Неисправность», «Авария», сигналов о выходе разрежения из разрешенного диапазона применим

сигнальные лампы, зеленые, 220V AC/DC MTB2-BV633, (направляющий аппарат открыт, преобразователь в режиме «Работа»), рис. 34;

сигнальные лампы, красные, 220V AC/DC MTB2-BV634, (сигнал преобразователя «Авария»), рис. 34;

сигнальные лампы, желтые, 220V AC/DC MTB2-BV635, (сигнал преобразователя «Неисправность»), рис. 34;

сигнальные лампы в сборе, зеленые, 24V AC/DC MTB2-BV613 (выход разрежения из разрешенного диапазона), рис. 34;

сигнальные лампы в сборе, красные, 24V AC/DC МТВ2-BV614 (выход разрежения из разрешенного диапазона), рис. 34.

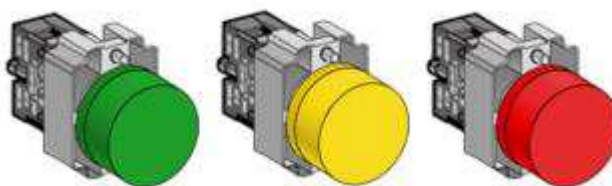


Рисунок 34 – Сигнальные лампы

Для коммутации цепей механизмов направляющих аппаратов дымососов выберем пускатель бесконтактный реверсивный ПБР 3А [16].

Пускатель предназначен для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами (в дальнейшем - механизм), в приводе которых используются трехфазные электродвигатели типов АОЛ, 4А, ДСР и ДСТР, эксплуатируемые вне жилых домов и не связанные с их электрическими сетями.

Область применения: автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП), АСУТП для атомных электростанций (АЭС), в энергетической и других отраслях промышленности.

Основные технические характеристики:

электрическое питание пускателя - трехфазная сеть переменного тока с номинальным напряжением 380,400 или 415 В частотой 50 или 60 Гц;

мощность, потребляемая пускателем при отсутствии сигнала управления, не более 5 Вт;

входное сопротивление пускателя –  $750 \pm 100$  Ом;

максимальный коммутируемый ток – 3А;

напряжение источника питания цепей управления  $26 \pm 2$  В. Источник допускает также подключение внешней нагрузки между клеммами 8 и 10. Максимальный ток, потребляемый нагрузкой, не должен быть более 100 мА.

Схема подключения пускателя показана на рис. 37.

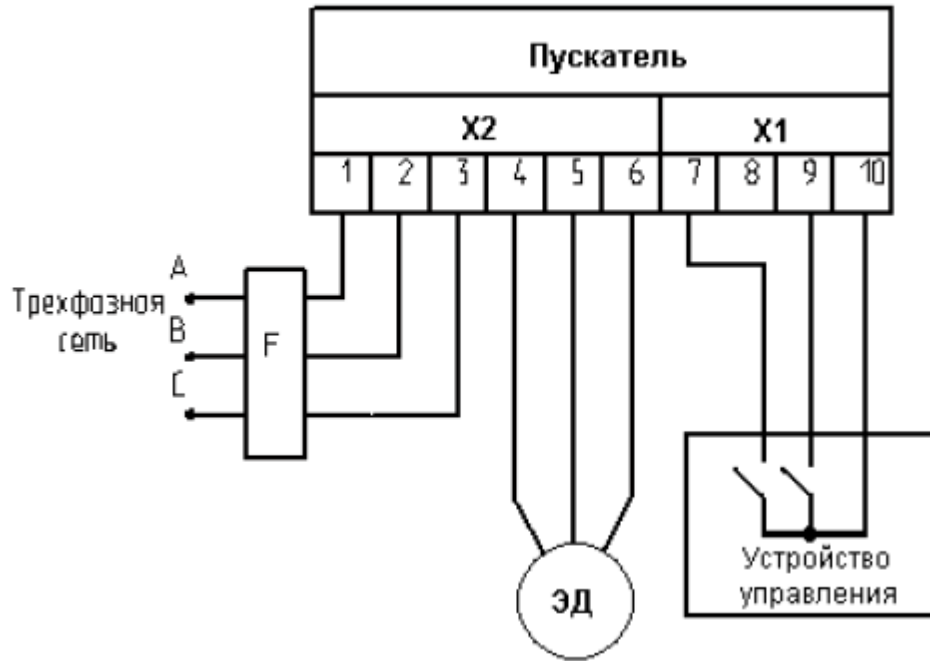


Рисунок 37 – Схема подключения ПБР 3А

### 3.8 Эскиз лицевой панели шкафа управления

На рис. 38 показан эскиз лицевой панели шкафа управления

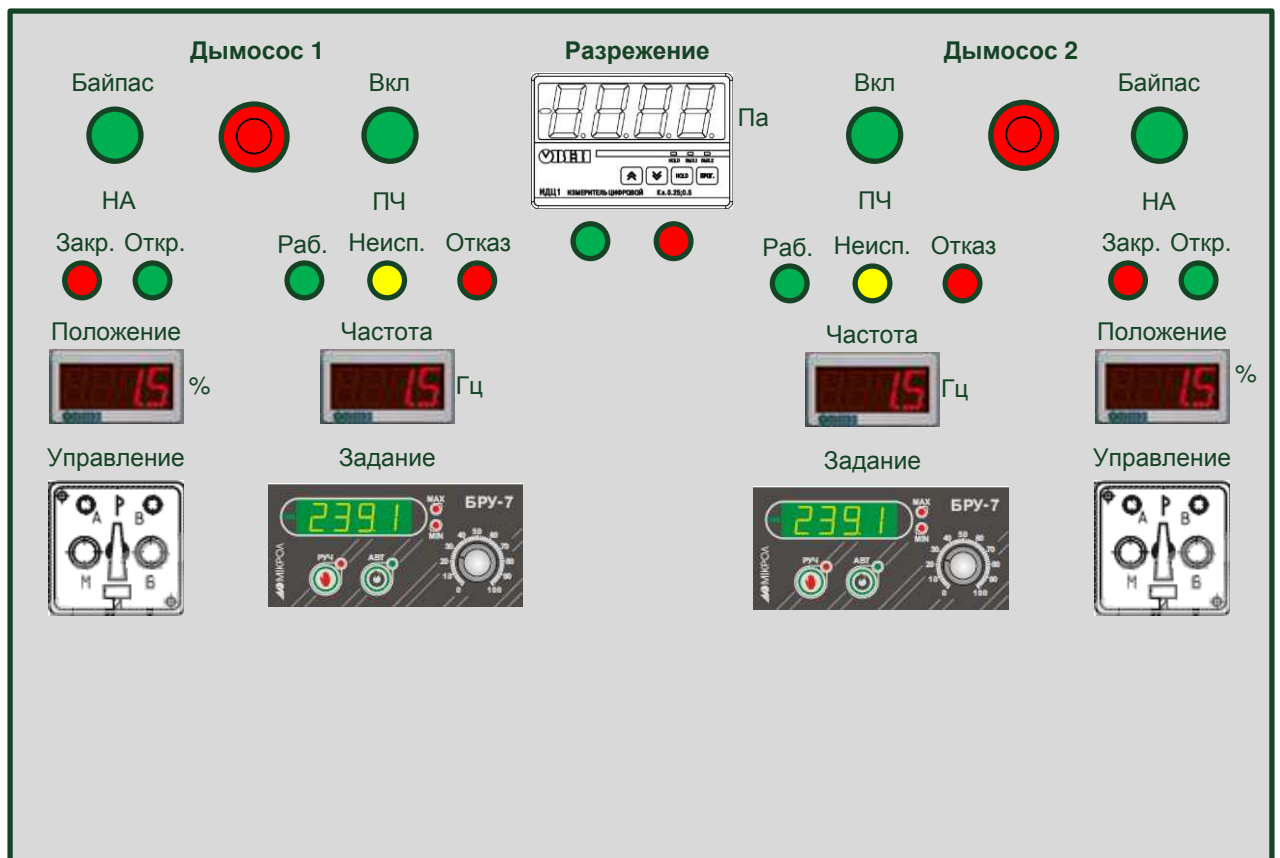


Рисунок 38 – Эскиз лицевой панели шкафа управления

При разработке основным требованием была минимизация органов управления и контроля, а также поясняющих надписей.

В центральной части лицевой панели сверху располагается лицевая панель прибора ИДЦ1, индицирующего разрежение в верхней части топки парогенератора в Па, а также две сигнальные лампы. Зеленая лампа светится при нахождении разрежения в разрешенном диапазоне, красная – при выходе из диапазона.

В левой и правой частях лицевой панели располагаются приборы и органы контроля и управления дымососами, в том числе (для каждого дымососа):

две зеленые кнопки с подсветкой для перевода преобразователя частоты в режим частотного управления и включения байпаса с питанием дымососа непосредственно от сети 6 кВ;

кранная грибовидная кнопка с фиксацией (типа тяни-толкай) для немедленной остановки дымососа;

красная и зеленая сигнальные лампы, загорающиеся при полном закрытии и полном открытии направляющего аппарата;

зеленая, желтая и красная сигнальные лампы, загорающиеся при нормальной работе, неисправности и аварии преобразователя частоты;

лицевые панели двух приборов ИТП1, индицирующие положение направляющего аппарата в % и выходную частоту преобразователя частоты в Гц;

блок управления БУ21, с помощью которого изменяется режим управления направляющим аппаратом и производится управление им в ручном режиме;

блок управления БРУ-7, с помощью которого изменяется режим управления преобразователем частоты и производится управление им в ручном режиме.

## 4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

### 4.1 Электрическая схема соединений и ее спецификация

Принципиальная схема (соединений) системы управления приведена на рис. 39, спецификация – в табл. 8.

Таблица 8 – Спецификация принципиальной схемы системы управления

Позиция	Наименование	Кол.	Примечание
SF1,SF2	Выключатель автоматический ВА47-29-1P 1А	2	
R1,R2	Резистор МО-25, 0.25 Вт, 510 Ом	2	
A1	Датчик давления-разрежения Сапфир-22М-ДИВ	1	
A2	Блок питания БП15Б-Д2-24	1	
A3	CPU 1215C 6ES7 215-1BG31-0XB0	1	
A4	SM 1223 6ES7 223-1PH30-0XB0	1	
A5	SM 1231 6ES7 231-4HF30-0XB0	1	
A6	Измеритель цифровой одноканальный ИДЦ1	1	
HL1	Лампа сигнальная МТВ2-BV613, 24 В	1	Зеленая
HL2	Лампа сигнальная МТВ2-BV614, 24 В	1	Красная
A7,A9, A11,A13	Индикатор токовой петли ИТП 11	4	
A8,A10	Блок управления БРУ-7	2	
A12,A14	Блок управления БУ21	2	
SB1,SB3	Кнопка грибовидная тяни-толкай МТВ2-BTZ124	2	Красная
SB2,SB4,S B5,SB6	Кнопка с LED подсветкой, МТВ2-BW3363	4	Зеленая
K1-K20	Реле промежуточное RP 407 AL, 220 В	20	
A15,A16	Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР 3А	2	
HL7,HL9, HL12,HL15	Лампа сигнальная МТВ2-BV633, 220 В	4	Зеленая
HL10,HL13	Лампа сигнальная МТВ2-BV635, 220 В	2	Желтая
HL8,HL11, HL14,HL16	Лампа сигнальная МТВ2-BV634, 220 В	4	Красная
SF3,SF4	Выключатель автоматический ВА47-29-1P 5А	2	
A17,A18	МЭО-250/63-0,63-99К	2	
A19,A20	Преобразователь Геркулес ПЧ-ТТПТР-48-6к	2	

Расчет и выбор автоматических выключателей приведены в п. 4.2.

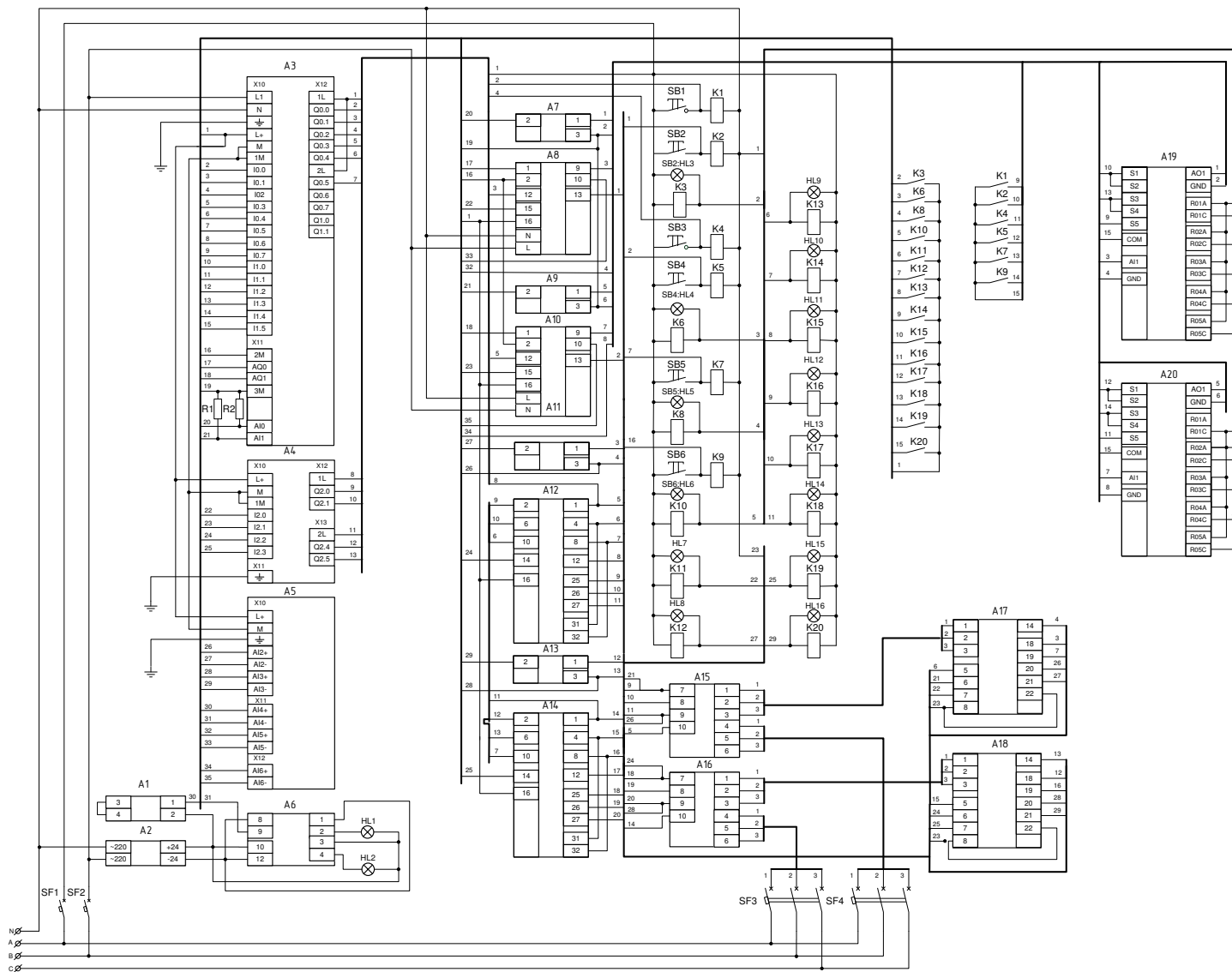


Рисунок 39 – Принципиальная схема соединений

## 4.2 Расчет и выбор устройств защиты

Предусмотрим отдельную защиту цепей коммутационной и сигнальной аппаратуры (кроме ПБР), цепей приборов и цепей ПБР.

В цепях коммутационной и сигнальной аппаратуры находятся 20 электромагнитных реле с катушками напряжением 220 В мощностью 1,2 ВА и 16 сигнальных ламп, потребляющих ток 20 мА. Максимальный потребляемый ток цепей:

$$I_{\text{макс}} = 20 \times \frac{1,2}{220} + 16 \times 0,02 = 0,43 \text{ А.} \quad (11)$$

Для защиты цепей катушек промежуточных реле и сигнальных ламп задействуем автоматический выключатель ВА47-29-1Р 1 А на номинальный ток 1 А, характеристика срабатывания В [18].

В цепях приборов потребителями являются: ПЛК (максимальный потребляемый ток 150 мА), блок питания БП15Б-Д2-24 мощностью 15 Вт и 2 прибора БРУ-7 с потребляемой мощностью 7 ВА. Ориентировочно максимальный потребляемый ток цепей:

$$I_{\text{макс}} = 0,15 + \frac{15}{220} + 2 \times \frac{7}{220} = 0,28 \text{ А.} \quad (12)$$

Для защиты цепей приборов задействуем автоматический выключатель ВА47-29-1Р 1 А на номинальный ток 1 А, характеристика срабатывания В [18].

Для защиты цепей ПБР 3 А и МЭО задействуем автоматические выключатели ВА47-29-3Р 5 А на номинальный ток 5 А, характеристика срабатывания В [18].



## 5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

### 5.1 Выбор средств разработки

Программирование ПЛК CPU 1215C и разработка SCADA-системы производится в среде Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) компании Siemens. TIA Portal – единая программная платформа, объединяющая все, что необходимо для работы со всеми компонентами автоматизации Siemens на всех этапах работы с проектом:

разработка проектов для контроллеров и устройств распределённого ввода-вывода;

конфигурирование систем человеко-машинного интерфейса и SCADA систем;

параметрирование сетевых компонентов и модулей связи, отладка программных алгоритмов управления, а так же ввод в эксплуатацию приводов.

Во главу угла продукта TIA Portal поставлена простота использования продукта (Usability). Принципиально новый пользовательский интерфейс призван облегчить пользователю работу с платформой, а его унификация и стандартизация упрощают работу с разнообразным оборудованием. Это новое слово в разработке программного обеспечения. Основной упор сделан на наглядность, интуитивную понятность и отсутствие многократно вложенных структур [21].

Однако TIA Portal – коммерческий продукт, цена которого составляет несколько сотен евро (в зависимости от версии) и в нашем распоряжении его нет. Поэтому в этой работе будет представлен прототип программного обеспечения, созданный в бесплатных средах разработки CoDeSys компании Smart Software Solution (3S) [19] и Trace Mode (базовой версии) российской фирмы Adastra [20]. Для эмуляции контроллера будет задействован программный эмулятор PLCWinNT, входящий в состав пакета CoDeSys. Обмен между контроллером и SCADA-системой будет осуществляться по протоколу OPC. Разработанный прототип в дальнейшем может быть трансформирован в программное обеспечение для реальной системы управления.

## 5.2 Структура и назначение программного комплекса

В состав программного комплекса входят:

упрощенная модель технологического процесса, включающая модели объекта управления и задействованного оборудования: дымососов и их направляющих аппаратов, преобразователей частоты, щитового оборудования;

управляющая программа для ПЛК;

SCADA-система.

Модель технологического процесса и управляющая программа для ПЛК реализованы в виде отдельных частей программы для виртуального контроллера PLCWinNT с визуализацией лицевой панели щита управления в CoDeSys. SCADA-система представляет собой монитор реального времени Trace Mode.

Программный комплекс позволяет опробовать все режимы управления дымососами, включая

ручное (местное) управление с помощью органов лицевой панели щита управления;

ручное (дистанционное) управление с помощью органов управления монитора реального времени;

автоматическое регулирование разрежения с воздействием как на преобразователь частоты, так и на направляющие аппараты.

## 5.3 Входные и выходные переменные

В таблицах 9 – 15 приведены перечни входных и выходных переменных программы управления, задействованных в обмене с аппаратурой и SCADA-системой.

Таблица 9 – Перечень входных дискретных сигналов

Наименование	Пояснение
1	2
pch1_reg_mode	ПЧ 1 в регулирующем режиме
pch2_reg_mode	ПЧ 2 в регулирующем режиме
pch1_dir_mode	ПЧ 1 в прямом режиме
pch2_dir_mode	ПЧ 2 в прямом режиме
na1_closed	НА 1 закрыт
na1_opened	НА 1 открыт

Продолжение таблицы 9

1	2
pch1_normal	ПЧ 1 в режиме работа
pch1_alarm	ПЧ 1 в режиме неисправность
pch1_fail	ПЧ 1 в режиме авария
pch2_normal	ПЧ 2 в режиме работа
pch2_alarm	ПЧ 2 в режиме неисправность
pch2_fail	ПЧ 2 в режиме авария
na2_closed	НА 2 закрыт
na2_opened	НА 2 открыт
pch1_auto_mode	ПЧ 1 в автоматическом режиме
pch2_auto_mode	ПЧ 2 в автоматическом режиме
na1_auto_mode	НА1 в автоматическом режиме
na2_auto_mode	НА2 в автоматическом режиме

Таблица 10 – Перечень входных аналоговых сигналов

Наименование	Пояснение	Единицы измерения	Пределы	Тип сигнала
pch1_freq	выходная частота ПЧ 1	%	0...100	(4-20)мА
pch2_freq	выходная частота ПЧ 2	%	0...100	(4-20)мА
na1_poz	положение НА 1	%	0...100	(4-20)мА
na2_poz	положение НА 2	%	0...100	(4-20)мА
upress	разрежение в топке, кПа	Па	-100...100	(4-20)мА
pch1_ref_freq_real	ПЧ 1 - заданная частота реальная (выход БРУ 7-1)	%	0...100	(4-20)мА
pch2_ref_freq_real	ПЧ 2 - заданная частота реальная (выход БРУ 7-2)	%	0...100	(4-20)мА

Таблица 11 – Перечень выходных дискретных сигналов

Наименование	Пояснение
1	2
pch1_do_stop	ПЧ 1 – стоп
pch1_do_reg_mode	ПЧ 1 - в регулирующий режим
pch2_do_stop	ПЧ 2 - стоп
pch2_do_reg_mode	ПЧ 2 - в регулирующий режим
pch1_do_dir_mode	ПЧ 1 - в прямой режим

Продолжение таблицы 11

1	2
pch2_do_dir_mode	ПЧ 2 - в прямой режим
na1_close	НА1 - закрывать
na1_open	НА1 - открывать
na2_close	НА2 - закрывать
na2_open	НА2 - открывать

Таблица 12 – Перечень выходных аналоговых сигналов

Наименование	Пояснение	Единицы измерения	Пределы	Тип сигнала
pch1_ref_freq	ПЧ 1 - заданная частота от контроллера	%	0...100	(4-20)мА
pch2_ref_freq	ПЧ 2 - заданная частота от контроллера	%	0...100	(4-20)мА

Таблица 13 – Перечень входных дискретных сигналов, принимаемых по интерфейсу

Наименование	Пояснение
1	2
pch1_do_stop_from_scada	ПЧ 1 - стоп
pch1_do_reg_mode_from_scada	ПЧ 1 - в регулирующий режим
pch2_do_stop_from_scada	ПЧ 2 - стоп
pch2_do_reg_mode_from_scada	ПЧ 2 - в регулирующий режим
pch1_do_dir_mode_from_scada	ПЧ 1 - в прямой режим
pch2_do_dir_mode_from_scada	ПЧ 2 - в прямой режим
na1_close_from_scada	НА 1 - закрывать
na1_open_from_scada	НА 1 - открывать
na2_close_from_scada	НА 2 - закрывать
na2_open_from_scada	НА 2 - открывать
na1_do_auto_mode_from_scada	НА 1 - в автоматический режим
na2_do_auto_mode_from_scada	НА 2 - в автоматический режим
pch1_do_auto_mode_from_scada	ПЧ 1 - в автоматический режим
pch2_do_auto_mode_from_scada	ПЧ 2 - в автоматический режим
pch1_ref_freq_plus_from_scada	ПЧ 1 - увеличить заданную частоту
pch1_ref_freq_minus_from_scada	ПЧ 1 - уменьшить заданную частоту
pch2_ref_freq_plus_from_scada	ПЧ 2 - увеличить заданную частоту
pch2_ref_freq_minus_from_scada	ПЧ 2 - уменьшить заданную частоту

Таблица 14 – Перечень выходных дискретных сигналов, передаваемых по интерфейсу

Наименование	Пояснение
pch1_reg_mode_to_scada	ПЧ 1 в регулирующем режиме
pch2_reg_mode_to_scada	ПЧ 2 в регулирующем режиме
pch1_dir_mode_to_scada	ПЧ 1 в прямом режиме
pch2_dir_mode_to_scada	ПЧ 2 в прямом режиме
na1_closed_to_scada	НА 1 закрыт
na1_opened_to_scada	НА 1 открыт
pch1_normal_to_scada	ПЧ 1 в режиме работа
pch1_alarm_to_scada	ПЧ 1 в режиме неисправность
pch1_fail_to_scada	ПЧ 1 в режиме авария
pch2_normal_to_scada	ПЧ 2 в режиме работа
pch2_alarm_to_scada	ПЧ 2 в режиме неисправность
pch2_fail_to_scada	ПЧ 2 в режиме авария
na2_closed_to_scada	НА 2 закрыт
na2_opened_to_scada	НА 2 открыт
pch1_auto_mode_to_scada	ПЧ 1 в автоматическом режиме
pch2_auto_mode_to_scada	ПЧ 2 в автоматическом режиме
na1_auto_mode_to_scada	НА 1 в автоматическом режиме
na2_auto_mode_to_scada	НА 2 в автоматическом режиме

Таблица 15 – Перечень выходных аналоговых сигналов, передаваемых по интерфейсу

Наименование	Пояснение	Единицы измерения	Пределы
pch1_freq_to_scada	Выходная частота ПЧ 1	%	0...100
pch2_freq_to_scada	Выходная частота ПЧ 1	%	0...100
na1_poz_to_scada	Положение НА 1	%	0...100
na2_poz_to_scada	Положение НА 2	%	0...100
upress_to_scada	Разрежение	Па	-100...100
pch1_ref_freq_to_scada	Заданная частота ПЧ 1	%	0...100
pch2_ref_freq_to_scada	Заданная частота ПЧ 2	%	0...100

В программном прототипе все переменные объявлены как глобальные, дискретные переменные имеют тип BOOL, аналоговые – тип REAL.

## 5.4 Программная модель технологического процесса и щита управления

Программная модель содержит функциональные блоки, программно имитирующие топку как объект регулирования разрежения (topka), работу дымососа в целом (DS), направляющего аппарата (NA) и преобразователя частоты PCH), а также программу MODEL, управляющую экземплярами функциональных блоков и обслуживающую экран визуализации щита управления.

Функциональный блок topka составлен на языке FBD (рис. 40). Входными сигналами являются производительности двух дымососов и общая производительность дутьевых вентиляторов. Выходной сигнал – значение разрежения в верхней части топки. Динамика объекта описывается передаточной функцией аperiodического звена первого порядка с постоянной времени, равной 10 сек. Начальное значение разрежения принято равным 30 Па.

Функциональный блок DS написан на языке ST. Он вычисляет эффективную производительность дымососа при заданных значениях частоты питания двигателя и положении направляющего аппарата. Код функционального блока представлен в Приложении А.

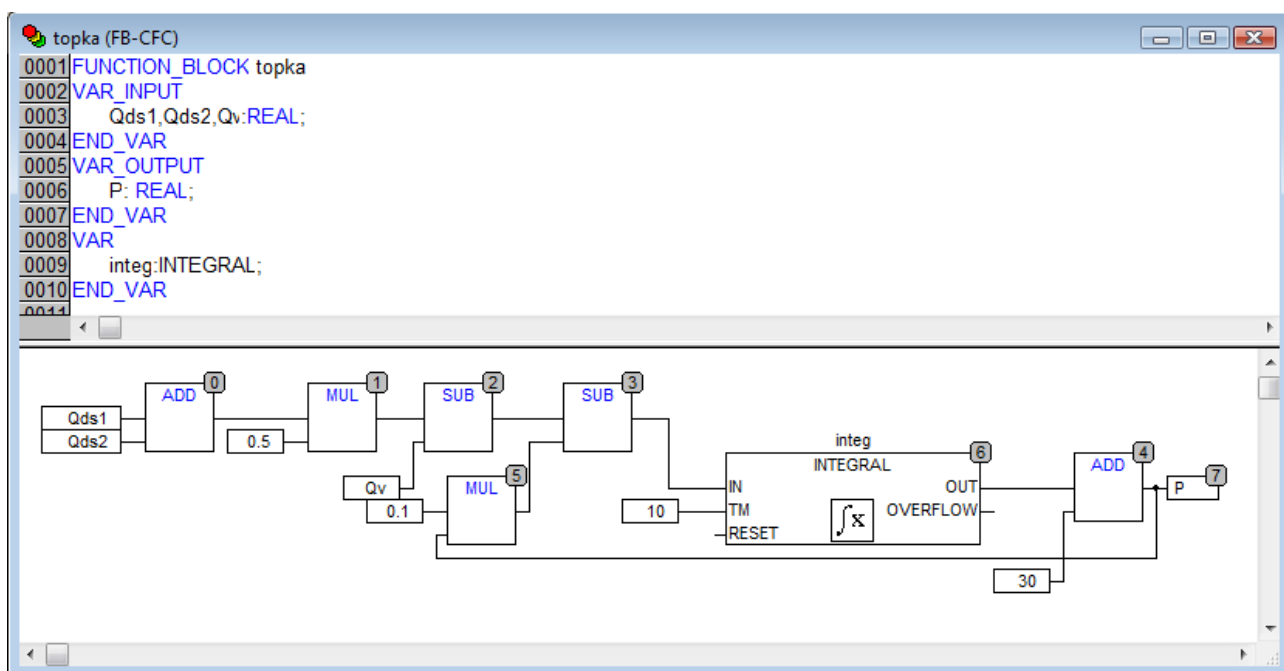


Рисунок 40 – Функциональный блок topka

Функциональный блок NA написан на языке ST. На его входы подаются сигналы на открытие и закрытие направляющего аппарата. Блок формирует сигналы о положении и состоянии (открыт/закрыт) аппарата. Время полного хода принято равным 63 сек. Код функционального блока представлен в Приложении Б.

Функциональный блок РСН написан на языке ST. Входными сигналами блока являются заданная частота, сигналы изменения режима работы преобразователя и его остановки, а также «фиктивные» сигналы ввода неисправностей и аварии. Блок формирует выходные сигналы преобразователя частоты: «аналоговый» сигнал текущей частоты, дискретные сигналы о режиме работы, неисправности и отказе. Программный код блока построен по принципу конечного автомата. Состояния автомата: останов, частотное регулирование, прямое включение двигателя. В коде предусмотрены плавное изменение частоты, автоматический «подхват» частоты при переходе из режима прямого включения в регулирующий и автоматический переход в режим прямого включения при отказе преобразователя. Функциональный блок РСН представлен в Приложении В.

Код программы MODEL приведен в Приложении Г. Программа оперирует:

- большим количеством битовых переменных, фиксирующих состояние кнопок, сигнальных ламп, реле и переключателей щита управления;

- «аналоговыми» переменными, хранящими значения сигналов задания частоты, введенных с помощью блоков управления БРУ7;

- экземплярами функциональных блоков NA, РСН, DS (по два каждого типа);

- экземпляром функционального блока torpa;

- «фиктивными» сигналами общей производительности дутьевых вентиляторов и ввода неисправностей и отказов преобразователей частоты.

Перечисленные выше переменные объявлены как локальные и относятся исключительно к модели объекта и аппаратуры управления. Помимо них про-

грамма MODEL обрабатывает и глобальные переменные, описывающие входы и выходы контроллера. В целом задачей программы является формирование входных сигналов контроллера по результатам обработки его выходных сигналов, поведения объекта управления и действий с визуальной имитацией щита управления. Экран визуализации, имитирующий лицевую панель щита управления, показан на рис. 41. Функциональные возможности экрана полностью аналогичны функциональным возможностям лицевой панели щита управления. В дополнение в нижней части экрана (вне контура щита) размещены кнопки, позволяющие вводить возмущающие воздействия: изменять суммарную производительность дутьевых вентиляторов, формировать сигналы о неисправностях и отказах преобразователей частоты. Органы индикации и управления привязаны исключительно к локальным переменным программы MODEL, что гарантирует адекватность поведения модели объекта управления.

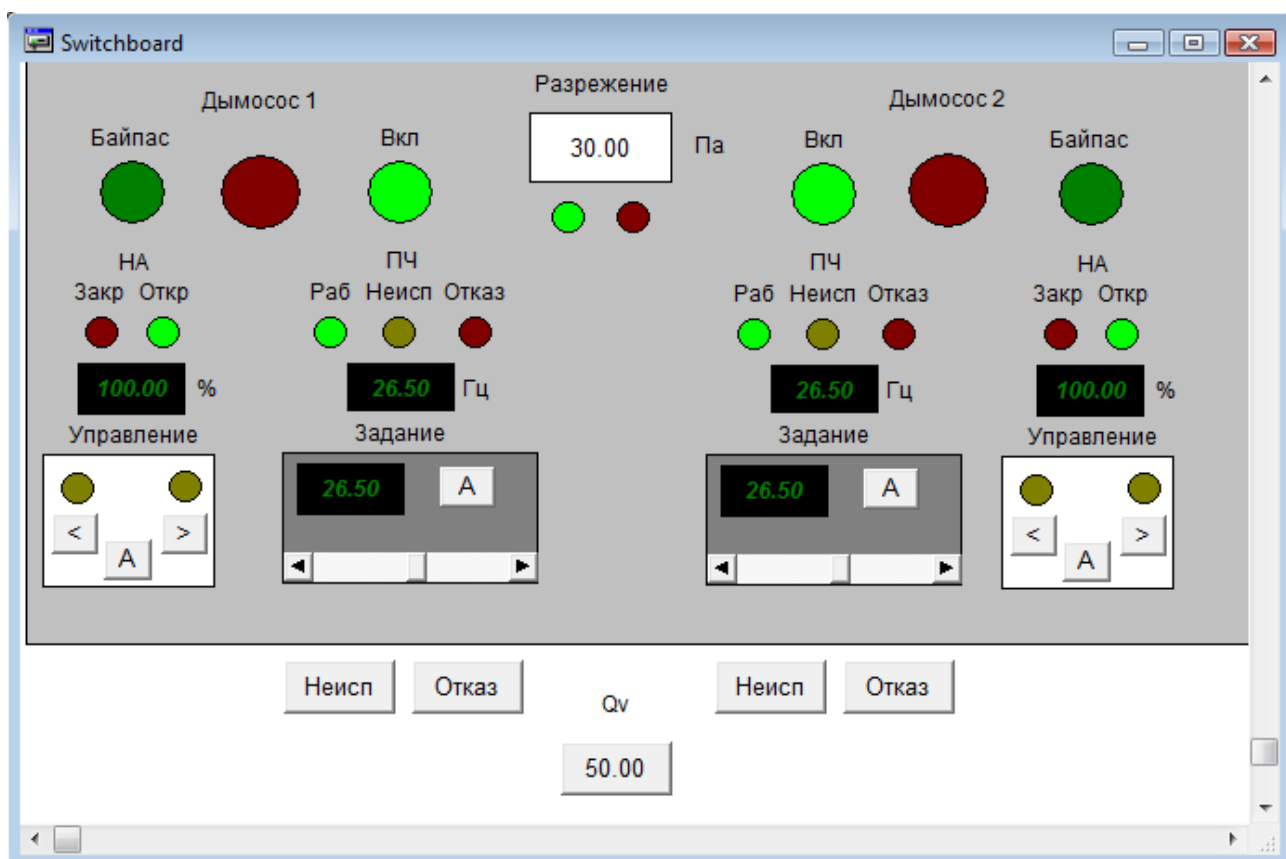


Рисунок 41 – Экран визуализации, имитирующий лицевую панель ЩУ



## 5.5 Программа управления

Программа управления представлена следующими компонентами проекта CoDeSys:

функциональный блок NA\_CONTROL, предназначенный для управления направляющим аппаратом дымососа;

программа CONTROL, реализующая управление процессом в целом;

программа PLC\_PRG, являющаяся «точкой входа», из которой вызываются программы MODEL и CONTROL.

Функциональный блок NA\_CONTROL написан на языке ST, его код представлен в Приложении Д. Блок в основном предназначен для приведения направляющего аппарата дымососа в заданное положение (регулирования положения). Входными переменными блока являются:

заданное и текущее положение направляющего аппарата;

зона нечувствительности системы позиционирования;

минимальное время включения привода;

сигналы о достижении направляющим аппаратом конечных положений (закрыт/открыт).

Выходными сигналами блока являются команды на открытие и закрытие направляющего аппарата.

Программный код блока построен по принципу конечного автомата. Состояния автомата: открытие, закрытие, останов. Переход из одного состояния в другое осуществляется исходя из значения ошибки регулирования положения, а также времени нахождения аппарата в текущем состоянии, отсчитываемого специальным таймером. Тем самым исключается недопустимо частые коммутации привода аппарата.

Программа CONTROL написана на языке ST, ее код приведен в Приложении Е. Программа решает следующие задачи:

регулирование разрежения в верхней части топки с воздействием на преобразователи частоты и направляющие аппараты, находящиеся в режиме автоматического управления;

обмен информацией со SCADA-системой;  
управление направляющими аппаратами с помощью экземпляров функционального блока NA\_CONTROL во всех режимах;  
управление преобразователями частоты во всех режимах.

## **5.6 SCADA-система**

### **5.6.1 Информационный обмен**

Для обмена информацией между ПЛК и SCADA системой могут быть задействованы различные интерфейсы, в том числе Ethernet. Программный симулятор использует протокол OPC. В опциях проекта CoDeSys программы ПЛК все глобальные переменные, предназначенные для обмена со SCADA-системой, были включены в «символьный файл» и стали таким образом тегами OPC сервера CoDeSys.

В проекте Trace Mode в разделе «Источники/приемники» были сконфигурированы две группы тегов: OPC\_Read и OPC\_Write, предназначенные для чтения переменных из контроллера и записи переменных в контроллер соответственно. Перечни каналов показаны на рис. 42, 43. Перечни переменных полностью соответствуют таблицам 13,14,15.

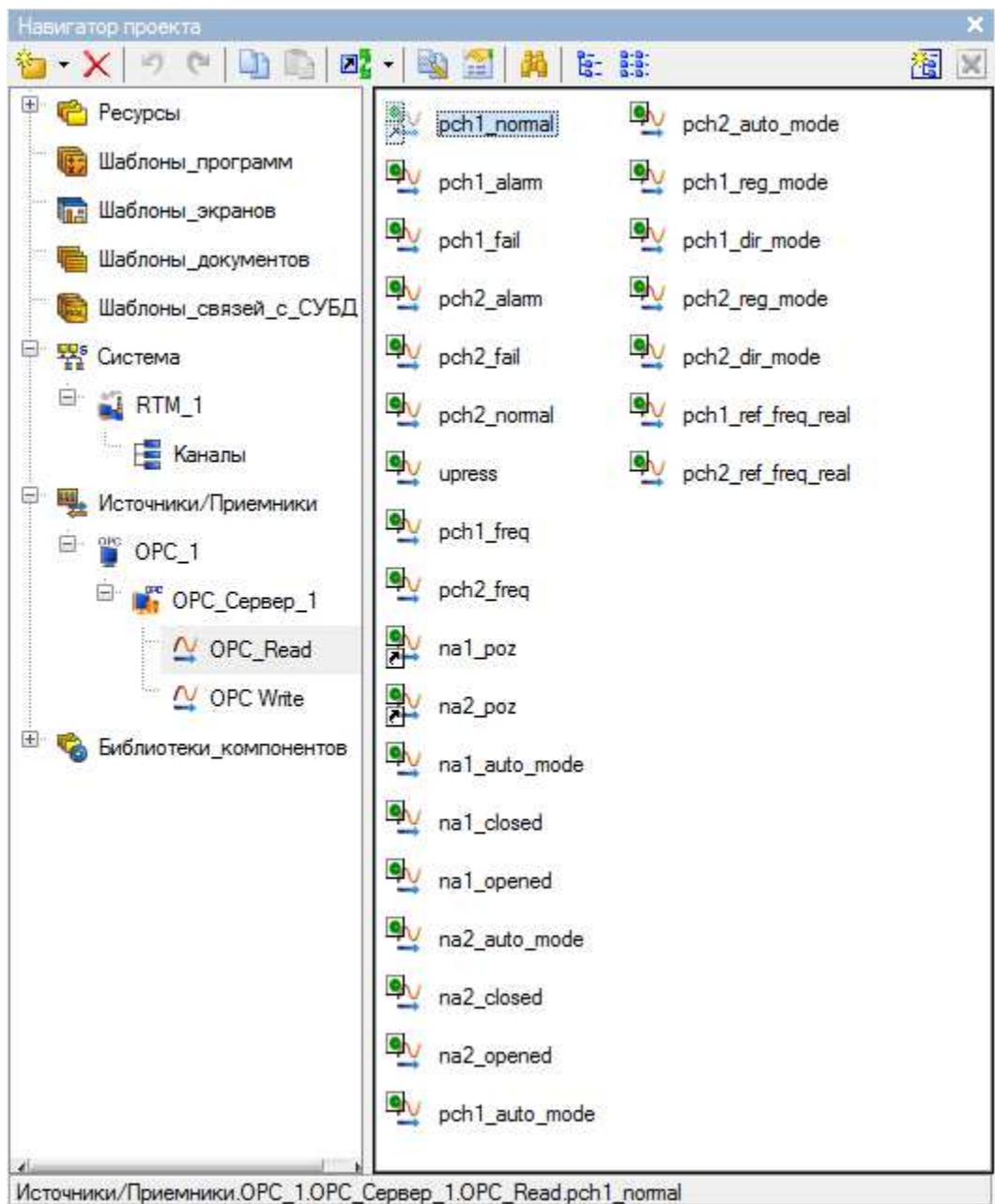


Рисунок 42 – Каналы OPC\_Read

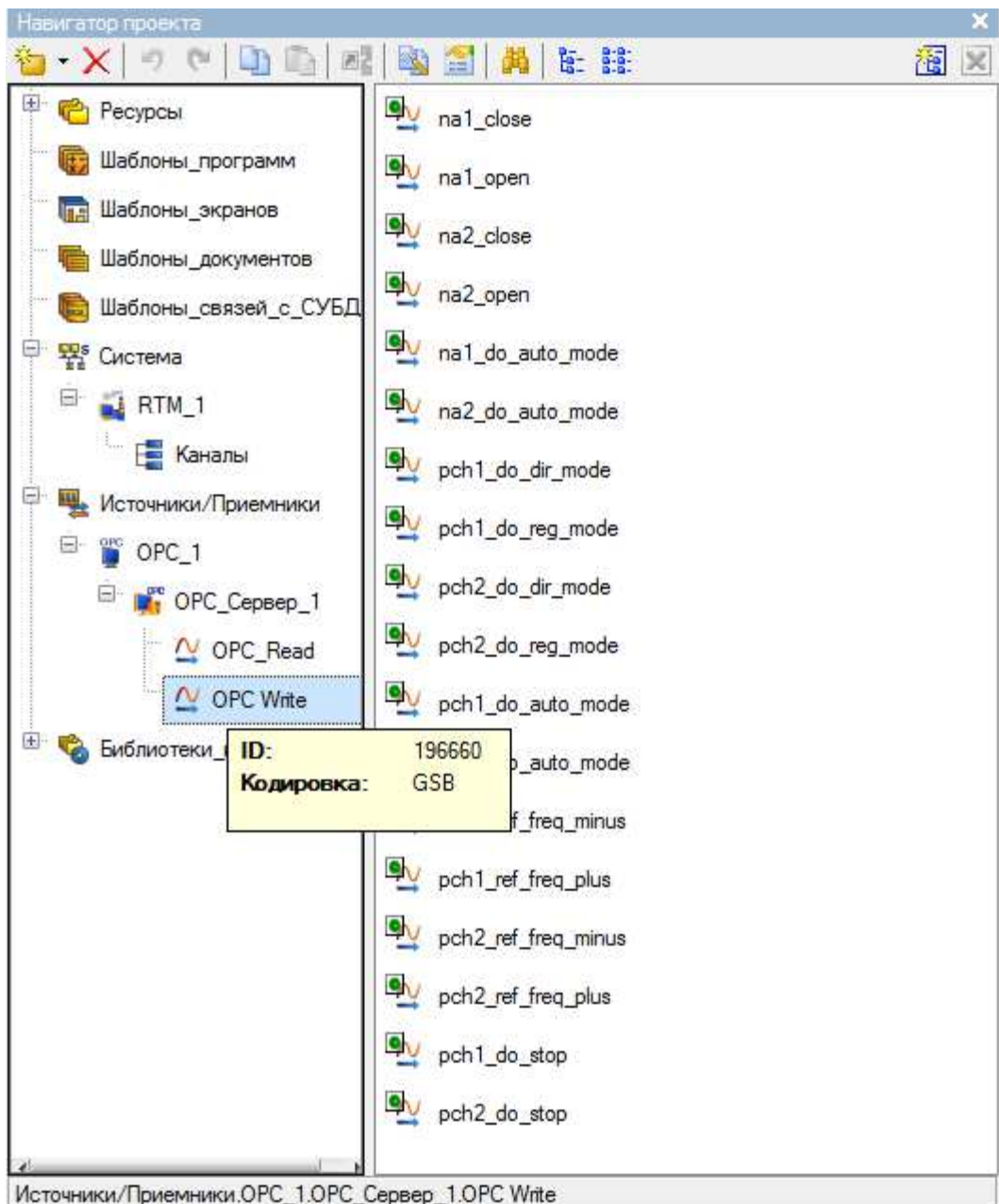


Рисунок 43 – Каналы OPC\_Write

Все «аналоговые» величины, поступающие в SCADA-систему, проходят обработку в каналах монитора реального времени. Для сигналов по частоте питания двигателей дымососов предусмотрено масштабирование для отображения их в герцах, рис. 44.

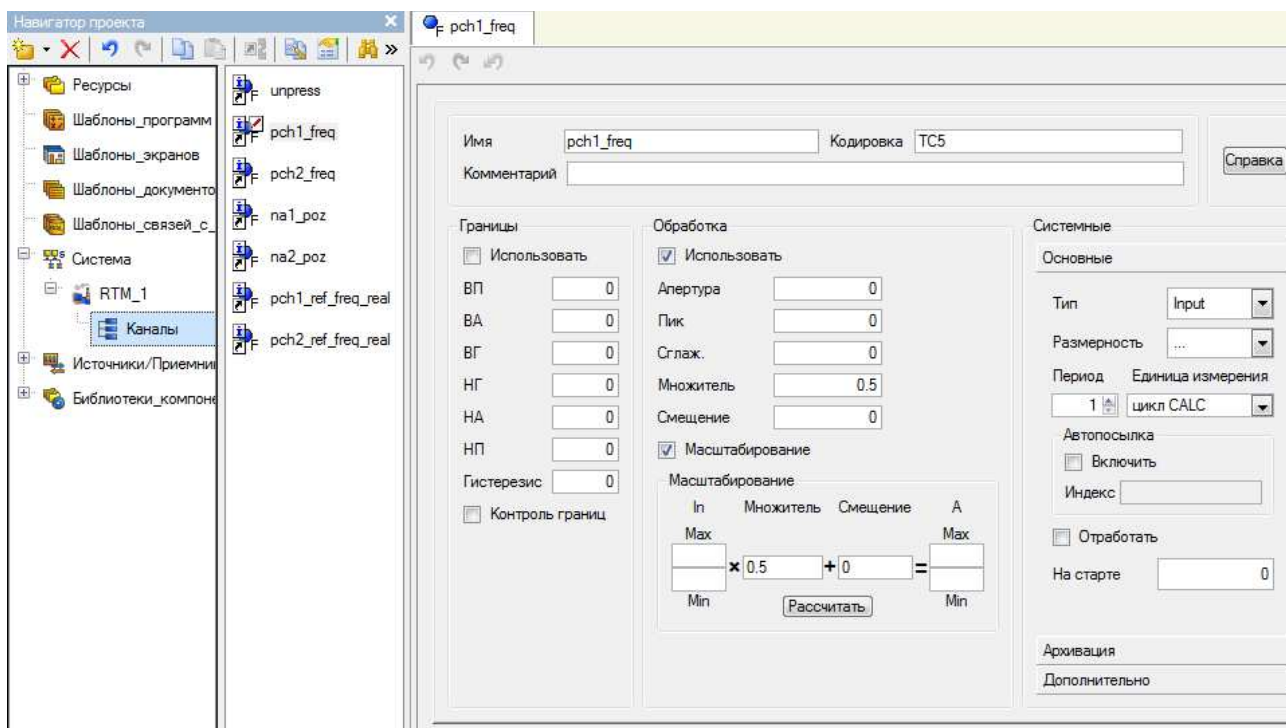


Рисунок 44 – Каналы аналоговых величин и масштабирование сигналов по частоте

### 5.6.2 Экран визуализации

Экран монитора реального времени в работе показан на рис. 43. В целом функциональность экрана повторяет функциональность лицевой панели щита управления. Дополнительные функции:

указание разрешения или запрета на выполнение операций перевода преобразователей в режимы частотного регулирования и прямого подключения двигателей дымососов к сети, а также ручного (дистанционного) управления выходной частотой преобразователей и перевода управления в автоматический режим;

указание разрешения или запрета на выполнение операций ручного (дистанционного) управления положением направляющих аппаратов и перевода управления в автоматический режим;

представление графика (тренда) изменения разрежения в процессе управления.

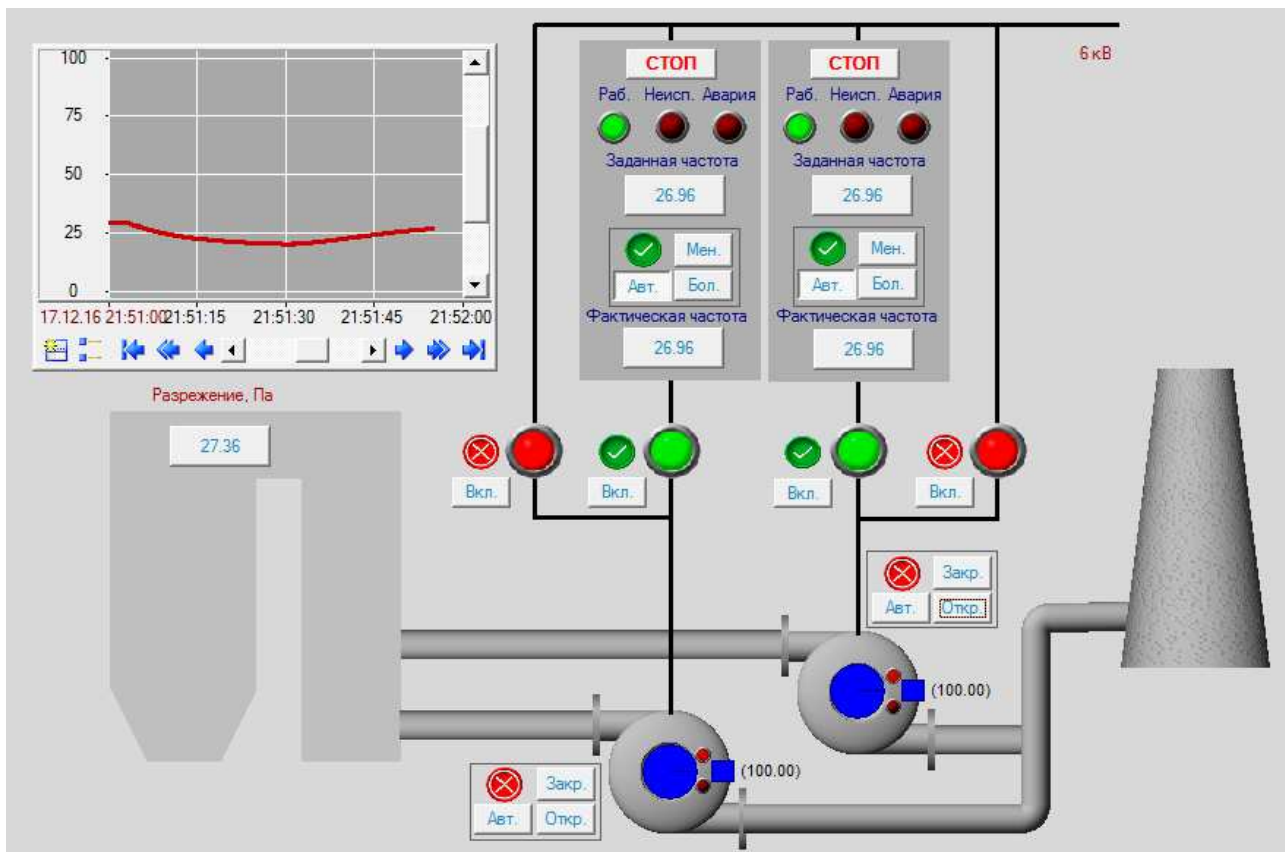


Рисунок 45 – Экран монитора реального времени Trace Mode  
 Настройка привязок экрана показана на рис. 46.

pch1_normal_VALUE	↓ IN	BOOL	pch1_normal:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch1_alam_VALUE	↓ IN	BOOL	pch1_alam:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch1_fail_VALUE	↓ IN	BOOL	pch1_fail:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch2_normal_VALUE	↓ IN	BOOL	pch2_normal:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch2_alam_VALUE	↓ IN	BOOL	pch2_alam:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch2_fail_VALUE	↓ IN	BOOL	pch2_fail:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
unpress_R	↓ IN	REAL	unpress:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
pch1_freq_R	↓ IN	REAL	pch1_freq:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
pch2_freq_R	↓ IN	REAL	pch2_freq:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
na1_poz_R	↓ IN	REAL	na1_poz:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
na2_poz_R	↓ IN	REAL	na2_poz:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
pch1_dir_mode_VALUE	↓ IN	BOOL	pch1_dir_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch1_reg_mode_VALUE	↓ IN	BOOL	pch1_reg_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch2_reg_mode_VALUE	↓ IN	BOOL	pch2_reg_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch2_dir_mode_VALUE	↓ IN	BOOL	pch2_dir_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
na1_opened_VALUE	↓ IN	BOOL	na1_opened:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
na1_closed_VALUE	↓ IN	BOOL	na1_closed:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
na2_opened_VALUE	↓ IN	BOOL	na2_opened:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
na2_closed_VALUE	↓ IN	BOOL	na2_closed:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
na1_close_VALUE	↑ OUT	BOOL	na1_close:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
na1_open_VALUE	↑ OUT	BOOL	na1_open:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
na2_close_VALUE	↑ OUT	BOOL	na2_close:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
na2_open_VALUE	↑ OUT	BOOL	na2_open:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
na1_auto_mode_VALUE	↓ IN	BOOL	na1_auto_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
na2_auto_mode_VALUE	↓ IN	BOOL	na2_auto_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
na1_do_auto_mode_VALUE	↑ OUT	BOOL	na1_do_auto_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
na2_do_auto_mode_VALUE	↑ OUT	BOOL	na2_do_auto_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch1_do_dir_mode_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch1_do_dir_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch1_auto_mode_VALUE	↓ IN	BOOL	pch1_auto_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch1_do_reg_mode_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch1_do_reg_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch2_auto_mode_VALUE	↓ IN	BOOL	pch2_auto_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Read)
pch2_do_reg_mode_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch2_do_reg_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch2_do_dir_mode_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch2_do_dir_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch1_do_auto_mode_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch1_do_auto_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch2_do_auto_mode_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch2_do_auto_mode:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch1_ref_freq_minus_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch1_ref_freq_minus:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch1_ref_freq_plus_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch1_ref_freq_plus:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch2_ref_freq_minus_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch2_ref_freq_minus:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch2_ref_freq_plus_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch2_ref_freq_plus:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch1_ref_freq_real_R	↓ IN	REAL	pch1_ref_freq_real:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
pch2_ref_freq_real_R	↓ IN	REAL	pch2_ref_freq_real:Реальное значение (Система.RTM_1.Каналы)
pch1_do_stop_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch1_do_stop:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)
pch2_do_stop_VALUE	↑ OUT	BOOL	pch2_do_stop:Значение (Источники/Приемники.OPC_1.OPC_Сервер_1.OPC_Write)

Рисунок 46 – Привязки экрана монитора реального времени

## 5.7 Результаты апробации и перспективы развития программного обеспечения

Результаты апробации программного обеспечения в целом положительные: система успешно решает задачи автоматического регулирования разрежения во всех режимах функционирования преобразователей частоты и направляющих аппаратов дымососов, производит переключение режимов по командам с щита управления и экрана SCADA-системы, корректно отображает ин-

формацию об управляемом процессе и режимах функционирования оборудования.

Вместе с тем требуют доработки следующие вопросы:

1) адекватное математическое описание объекта регулирования разрежения по результатам экспериментальных исследований и оптимальная настройка регулятора;

2) подавление пульсаций сигнала по разрежению настройкой фильтрации входного канала;

3) обеспечение безударности регулирования разрежения при плановом переходе в режим прямого подключения двигателей дымососов.



## 6 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

### **6.1 Требования по обеспечению безопасности и охраны труда на рабочем месте оператора щита управления**

Предложенная разработка автоматизированной система предназначена для ручного и автоматического управления производительностью дымососов парогенератора с целью поддержания постоянного разрежения 20-30 Па для обеспечения устойчивости факела и недопущения выбивания топочных газов из топочной камеры, что позволяет рассматривать данную систему в качестве элемента единой системы обеспечения безопасной эксплуатации парогенератора.

Данный процесс предусматривает ведения непрерывного контроля параметров за визуальной имитацией щита управления, представленного на экране монитора реального времени TraceMode.

В этой связи, создание безопасных и комфортных условий труда для оператора щита управления, осуществляющего непрерывный контроль за параметрами разряжения в топке на экране монитора, можно рассматривать в качестве элемента единой системы обеспечения безопасной эксплуатации парогенератора. При этом, по техническому регламенту, оператор должен иметь возможность при необходимости перейти на ручное управление производительностью дымососов, изменяя суммарную производительность дутьевых вентиляторов, формировать сигналы о неисправностях и отказах преобразователей частоты, с целью обеспечения безопасных параметров работы парогенератора.

В настоящее время разработаны и действуют целый ряд нормативных документов, регламентирующих обеспечение безопасных условий и охраны труда на рабочих местах, оборудованных персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) на объектах теплоэнергетики.

В частности, требования по обеспечению безопасных условий и охраны труда на подобных рабочих местах отражены в Приказе Минтруда России от 17.08.2015 № 551н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок» [25], в типовой Инструкции по охране труда для

пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике (РД 153-34.0-03.2.98-2001) [26], в санитарно-эпидемиологических правилах и нормах СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах", утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 21.06.2016 N 81 [27], в санитарно-эпидемиологических правилах и нормах СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.06.2003 N 118 [28] и ряде других нормативных документах.

Но при этом, основным нормативным правовым актом, где отражены требования к работодателям по обеспечению безопасных условий и охраны труда на рабочих местах является Трудовой кодекс Российской Федерации, и в частности статья 212, в которой изложены эти обязательные требования к работодателям [29].

Из содержания этой статьи следует, что на руководителей предприятий и организаций возложена обязанность по обеспечению безопасности работников при эксплуатации ими зданий, оборудования, осуществлении технологических процессов и применяемых инструментов, сырья и материалов, обеспечением их средствами индивидуальной и коллективной защиты, организацией и проведением обучения безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим, проведению инструктажей по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда, организации обязательных медицинских осмотров и психиатрических освидетельствований и ряд других обязательных требований в области обеспечения безопасности на рабочих местах.

## **6.2 Характеристика опасных и вредных факторов**

Условия труда на рабочем месте оператора щита управления будут складываться из многих факторов производственной среды и трудового процесса и

относятся к категории работ, связанных с опасными и вредными условиями труда [25,27]. Наиболее значимыми опасными и вредными факторами на таких рабочих местах являются следующие:

- повышенный уровень напряжения в электрических цепях питания и управления ПК, который может привести к электротравме оператора при отсутствии заземления или зануления оборудования;

- повышенный уровень напряженности электрического и магнитного полей от токов промышленной частоты 50 Гц от ПК, вспомогательных приборов, других электроустановок, силовых кабелей;

- не соответствующие санитарным нормам визуальные параметры дисплеев, (возникновение нестабильного изображения) из-за влияния на дисплей повышенных значений напряженности магнитного поля от источников тока промышленной частоты 50 Гц, повышенный уровень прямой и отраженной блескости, повышенная яркость светового изображения, повышенный уровень пульсации светового потока, неравномерность распределения яркости;

- избыточные энергетические потоки сине-фиолетового света от экрана дисплея в видимом диапазоне длин электромагнитных волн, снижающие четкость восприятия изображения глазом;

- пониженный или повышенный уровень освещенности;

- повышенный уровень напряженности статического электричества;

- повышенный уровень запыленности воздуха рабочей зоны от внешних источников;

- не соответствующие нормам параметры микроклимата воздуха рабочей зоны;

- нарушение норм по аэроионному составу воздуха;

- повышенный уровень шума от работающих вентилятора охлаждения ПК и принтера;

- повышенные зрительные нагрузки и адинамиа глазных мышц, в следствии их малой подвижности при высоком статическом зрительном напряжении в течение длительного времени;

- монотонность труда;
- повышенное умственное напряжение из-за большого объема перерабатываемой и усваиваемой информации;
- физическое перенапряжение мышц позвоночника, ног, рук, шеи, глаз;
- повышенное нервно-эмоциональное напряжение.

Длительное воздействие данных опасных и вредных факторов на оператора щита управления могут привести к отклонениям в состоянии его здоровья. Эти отклонения могут быть связаны со снижением остроты зрения и запаса относительной аккомодации, развития близорукости, нарушения бинокулярного зрения. Не исключаются физические недомогания, сонливость, головные боли в области надбровий, затылочной и теменной областях, онемение конечностей, усталость и т.п.. В отдельных случаях не исключаются психические расстройства и нервно-соматические нарушения, рост числа ошибок, снижение сосредоточенности.

### **6.3 Требования к подбору персонала**

Отклонения в состоянии здоровья оператора резко возрастают с увеличением времени работы на ПЭВМ, поэтому, вышеперечисленные документы [25,26,27,28] устанавливают обязательные требования к персоналу, который может быть допущен или не допущен к выполнению данной работы. В частности, к такой работе не допускаются лица моложе 18 лет, лица не прошедшие обязательный медицинский осмотр или имеющие медицинские противопоказания, женщины во время беременности и в период кормления ребенка грудью [26,27].

Требования к персоналу, допущенному к работе в качестве операторов, предъявляются требования о прохождении специальной подготовки по охране труда, в которую входят:

- психофизиологическое тестирование на профессиональную пригодность;
- вводный инструктаж по охране труда;
- первичный и повторный инструктаж по охране труда на рабочем месте;

– обучение принципам работы с вычислительной техникой, специальное обучение по работе на ПЭВМ с использованием конкретного программного обеспечения;

– аттестация по электробезопасности, с присвоением, как минимум, I квалификационной группы, для операторов, занятых ремонтом и наладкой ПЭВМ и другого оборудования - III квалификационной группы;

– обучение по охране труда и приемам оказания первой помощи пострадавшим от несчастных случаев [26,27].

#### **6.4 Требования к электронно-вычислительным машинам и помещениям**

Требования будут не полными, если не указать требования безопасности, которые предъявляются к оборудованию, мебели и помещению, в котором организовано рабочее место оператора.

Во-первых, используемый в работе оператора ПЭВМ должен соответствовать нормам безопасности, что подтверждается соответствующим сертификатом и гигиеническим заключением.

Во-вторых, допустимые уровни звукового давления, уровней звука, уровни электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ, не должны превышать значений, приведенных в СанПиН 2.2.4.3359-16 [28]. Конструкция ПК должна обеспечивать возможность поворота корпуса в горизонтальной и вертикальной плоскости с фиксацией в заданном положении и должна предусматривать регулирование яркости и контрастности [25].

Расположенные в помещении оператора мебель, оргтехника и другое оборудование, должны соответствовать эргономическим требованиям, включая их окраску и конструкцию, при этом ПЭВМ следует располагать на расстоянии не менее 1,5 м от отопительных приборов и исключить попадание прямых солнечных лучей на его составные части.

Рассматривая многочисленные требования, предъявляемые к помещениям, где будут организованы рабочие места операторов ПЭВМ, выделим наиболее значимые из них.

Во-первых, данные помещения должны быть оборудованы следующими системами и устройствами:

– освещения (естественное или искусственное, общее или комбинированное), обеспечивающими создание световой среды на рабочем месте оператора соответствующую действующим нормативным документам [25,27];

– вентиляции, кондиционирования и отопления, создающими оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте в холодный и теплый период года для категории работ 1а и 1б [25,27];

– устройствами защиты от поражения электрическим током (защитным заземлением, занулением), защитным отключением –УЗО.

Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, должны использоваться диффузно отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка - 0,7 - 0,8; для стен - 0,5 - 0,6; для пола - 0,3 - 0,5 [25].

Во-вторых, содержание вредных химических веществ в производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.), не должно превышать предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест в соответствии с действующими гигиеническими нормативами. В этих помещениях проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ПЭВМ.

### **6.5 Требования к режиму труда и отдыха оператора**

Правильно организованный процесс труда и отдыха оператора ПЭВМ значительно уменьшает воздействие опасных и вредных факторов на человека и способствует созданию комфортных условий труда на рабочем месте. Основные требования к организации режима труда и отдыха работников организаций изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации, где указано, что режим труда и отдыха работников организуется в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права.

В соответствии с требованиями, приведенными в РД 153-34.0-03.2.98-2001, режим труда и отдыха оператора ПЭВМ устанавливается работодателем по взаимной договоренности в соответствии с ТК РФ и Коллективным договором между работниками организации и работодателем и закрепляется трудовым договором.

Время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности должно составлять до 14 % рабочего времени, при этом доля регламентированных перерывов на отдых должна составлять до 8-10 % рабочего времени.

Продолжительность перерыва для приема пищи определяется Трудовым кодексом и правилами внутреннего трудового распорядка организации, но не менее 30 минут и не более 2 часов в смену.

Рекомендуемый режим труда и отдыха для оператора ПЭВМ приведен в приложении 3 [27] и в приложении 7 [25].

Суммарное время на регламентированные перерывы рекомендуется устанавливать в зависимости от категории трудовой деятельности и уровня нагрузки за рабочую смену при работе оператора за ПЭВМ.

Ниже, в таблице 16, представлены рекомендации для определения суммарного времени регламентированных перерывов для операторов ПЭВМ [1].

Таблица 16 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ПЭВМ

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, ч	при 8-часовой смене	при 12-часовой смене
I	до 20000	до 15000	до 2	50	80
II	до 40000	до 30000	до 4	70	110
III	до 60000	до 40000	до 6	90	140

Продолжительность непрерывной работы с ВДТ без регламентированного перерыва не должна превышать 1 ч. При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22 до 6 ч), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов следует увеличивать на 30 % [25].

Индивидуальный подход в ограничении времени работы на ПК, коррекция длительности перерывов для отдыха или смена деятельности на другую, не связанную с использованием ПК, применяются в случаях возникновения у работающих на ПК зрительного дискомфорта и других неблагоприятных субъективных ощущений, несмотря на соблюдение санитарно-гигиенических, эргономических требований, режима труда и отдыха [27].

Таким образом, соблюдение изложенных выше норм и требований безопасности при организации рабочего места оператора щита управления Райчихинской ГРЭС, будет способствовать обеспечению безопасной эксплуатации парогенератора, а следовательно, будет обеспечена безопасная работа всего предприятия.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы были решены следующие задачи:

- изучен объект автоматизации, рассмотрена структура существующей системы управления, выявлены ее недостатки, поставлены задачи ее модернизации;
- разработана структурная схема автоматизации;
- произведен выбор технических средств автоматизации и разработана принципиальная электрическая схема их соединений;
- предложен эскиз лицевой панели щита управления;
- разработана программная модель технологического процесса и прототип технологической программы управления;
- спроектирована система визуализации и супервизорного управления;
- даны характеристики опасных и вредных факторов и сформулированы требования по обеспечению безопасности работы системы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Siemens. Simatic S7. Программируемые контроллеры S7-1200. Системное руководство, 11/2009, A5E02669003-02 [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://s79292.cdn3.setup.ru/u/73/a30325a355fde624c7f9420ca7e5e6/297423\\_11451\\_siemens\\_simatic\\_s7\\_1200\\_programmiruemyyu\\_kontroller.pdf](http://s79292.cdn3.setup.ru/u/73/a30325a355fde624c7f9420ca7e5e6/297423_11451_siemens_simatic_s7_1200_programmiruemyyu_kontroller.pdf).- 10.05.2016
- 2 БРУ-7 БРУ-7К1 Руководство по эксплуатации ПРМК.422419.002 РЭ [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://zelaz.ru/files/device /rukovodstvo\\_bru-7.pdf](http://zelaz.ru/files/device /rukovodstvo_bru-7.pdf). – 30.06.2016
- 3 БУ21 Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс].- Режим доступа: [http://kubankipservice.pro/download/documentation/Pasport\\_na\\_BU\\_21.pdf](http://kubankipservice.pro/download/documentation/Pasport_na_BU_21.pdf). – 6.05.2016
- 4 Высоковольтный преобразователь частоты серии «Геркулес». Руководство по эксплуатации. ООО «Научно-производственное предприятие «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СПБ» [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://it-spb.ru/produksiya/vysokovoltnyy-preobrazovatel-chastoty-gerkules.-> 10.07.2016
- 5 ГОСТ 19.701–90. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 23 с.
- 6 ГОСТ 21.404–85. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.
- 7 Гринштейн, Б.И. Опыт разработки и внедрения тиристорных преобразователей частоты для пуска и регулирования частоты вращения мощных синхронных машин // А.М. Колоколкин, А.Н. Тарасов, Электрические станции. 2005. № 8.- С. 45-53.
- 8 Гузеев Б.В., Хакимьянов М.И. Современные промышленные высоковольтные преобразователи частоты для регулирования асинхронных и синхронных двигателей// Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2011, № 3 [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.ogbus.ru.-> 11.08.2016

9 Иванцов В.В. Цены и сроки окупаемости высоковольтных частотно-регулируемых электроприводов тягодутьевых машин (дымососов и вентиляторов).- Сайт компании «Эрасиб». [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.erasib.ru/staty/price-ROI-cement-fan/>. – 20.07.2016

10 Лазарев Г.Б. Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода. Построение различных систем // Новости электротехники. 2005. № 2 (32). С. 30-36. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/32/10.php>. – 10.09.2016

11 Механизмы исполнительные электрические однооборотные МЭО(Ф). Руководство по эксплуатации ЯЛБИ.421321.073 РЭ // ОАО АБС ЗЭИМ Автоматизация [Электронный ресурс].- Режим доступа: [www.zeim.ru/production/docs/re/53.pdf](http://www.zeim.ru/production/docs/re/53.pdf). -12.09.2016

12 Мухамадеев А.Р. Преобразователи частоты и устройства плавного пуска для электроприводов переменного тока // Энергетика Татарстана. 2010. № 17. С. 44-53.

13 Народницкий А.Г. Частотно регулируемые приводы и энергораспределительные системы // Цемент и его применение. 2008. № 4. С. 38-41.

14 ОСТ 36.13-90. Щиты и пульты систем автоматизации технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 53 с.

15 Преобразователь измерительный Сапфир-22М. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 08906128 РЭ// ЗАО «Манометр» [Электронный ресурс].- Режим доступа: [https://priborika.ru/omishop/01/0115/011500/s22m\\_perek1.pdf](https://priborika.ru/omishop/01/0115/011500/s22m_perek1.pdf).- 10.10.2016

16 Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3. Руководство по эксплуатации ЯЛБИ.421235.001 РЭ// ОАО АБС ЗЭИМ. [www.zeim.ru/production/docs/d/13389.pdf](http://www.zeim.ru/production/docs/d/13389.pdf).

17 РМ 4-51-90. Принципы компоновки щитов и пультов управления. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 28 с.

18 Сайт группы компании ИЕК [Электронный ресурс].- каталог продукции. Режим доступа: <http://www.iek.ru/>. – 12.10.2016

19 Сайт компании 3S-Smart Software Solutions GmbH & CODESYS/  
<https://www.codesys.com/>. – 16.11.2016

20 Сайт компании AdAstrA Research Group Ltd [Электронный ресурс].  
Режим доступа: <http://www.adastra.ru>. – 18.11.2016

21 Сайт компании ООО Промэнерго Автоматика Авторизованный дистрибьютор Siemens в России <https://www.siemens-pro.ru/soft/tia-portal.html>.

22 Сайт компании ООО «ОВЕН» [Электронный ресурс]: каталог продукции. Режим доступа: [http:// ww.owen.ru](http://ww.owen.ru). – 20.11.2016

23 Сайт компании ООО «Российская промышленная компания KIPPRIBOR» [Электронный ресурс]. - каталог продукции. Режим доступа: <http://kippribor.ru/>. – 29.12.2016

24 Шкердин Д.Г. Преобразователи частоты в энергосберегающем приводе насосов // Водоснабжение и санитарная техника. 2004. №7. С. 29-32.

25 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 " «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.06.2003 N 118 (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 10.06.2003, регистрационный номер 4673);[Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc; base=LAW; n=41812#0>. – 22.12.2016

26 Приказ Минтруда России от 17.08.2015 № 551н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации тепловых энергоустановок» (Зарегистрировано в Минюсте России 05.10.2015 № 39138).[Электронный ресурс]<http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=41812#0> – 24.12.2016

27 Типовая Инструкции по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике (РД 153-34.0-03.2.98-2001).[Электронный ресурс]. Режим доступа:

<http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=41812#0>. –

25.12.2016

28 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.4.3359-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах", утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 21.06.2016 N 81 (зарегистрировано Министерством юстиции Российской Федерации 08.08.2016, регистрационный номер 43153). [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://mooml.com/>. – 1.02.2017

29 «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 Федеральный закон № 197-ФЗ (с изм. и доп.). документ представлен КонсультантПлюс. Режим доступа: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru). – 12.12.2016

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Функциональный блок DS (дымосос)

```
FUNCTION_BLOCK DS
VAR_INPUT
    freq:REAL; (*частота ПЧ*)
    na_poz:REAL; (*положение НА*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Q:REAL;
END_VAR
Q:=freq*na_poz/100;
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Функциональный блок НА (направляющий аппарат)

```
FUNCTION_BLOCK NA
VAR_INPUT
    open, close:BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Pol:REAL;
    op_ed, cl_ed:BOOL;
END_VAR
VAR
    Polog:REAL;
    Integ:INTEGRAL;
    opened, closed:BOOL;
END_VAR
IF open AND NOT close AND NOT opened THEN
    Integ(IN:=2, TM:=10);
ELSIF close AND NOT open AND NOT closed THEN
    Integ(IN:=-2, TM:=10);
END_IF
Polog:=Integ.OUT+100;
IF Polog >= 100 THEN
    Polog:=100;
    opened:=TRUE;
ELSIF Polog <= 0 THEN
    Polog:=0;
    closed:=TRUE;
ELSE
    opened:=FALSE;
    closed:=FALSE;
END_IF
Pol:=Polog;
op_ed:=opened;
cl_ed:=closed;
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Функциональный блок РСН (преобразователь частоты)

```
FUNCTION_BLOCK PCH
VAR_INPUT
    ref_freq:REAL;
    do_reg_mode, do_dir_mode, stop:BOOL;
    do_alarm, do_fail:BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    freq:REAL;
    reg_mode, dir_mode:BOOL;
    normal, alarm, fail:BOOL;
END_VAR
VAR
    PCH_freq:REAL;
    Integ:INTEGRAL;
    mode:BYTE:=1; (*0 - стоп, 1 - частотное регулирование, 2 -
прямое включение*)
    error:REAL;
    freq_begin: REAL:=53;
END_VAR

CASE mode OF
0:
    PCH_freq:=0;
    Integ(RESET:=TRUE);
    IF do_reg_mode THEN
        mode:=1;
    ELSIF do_dir_mode THEN
        mode:=2;
    END_IF
    freq:=0;
    reg_mode:=FALSE;
    dir_mode:=FALSE;
    normal:=FALSE;
    alarm:=do_alarm;
    fail:=do_fail;
    freq_begin:=0;
1:
    error:=ref_freq - PCH_freq;
    IF error >0.01 AND PCH_freq < 100 THEN
        Integ(IN:=2, TM:=10, RESET:=FALSE);
    ELSIF error < -0.01 AND PCH_freq > 0 THEN
        Integ(IN:=-2, TM:=10, RESET:=FALSE);
    END_IF
    PCH_freq:=Integ.OUT+freq_begin;
    IF PCH_freq > 100 THEN
        PCH_freq:=100;
    ELSIF PCH_freq < 0 THEN
        PCH_freq:=0;
    END_IF
    freq:=PCH_freq;
```



```

    reg_mode:=TRUE;
    dir_mode:=FALSE;
    normal:=TRUE;
    alarm:=do_alarm;
    fail:=do_fail;
    IF (do_dir_mode AND NOT do_reg_mode) OR do_fail THEN
        mode:=2;
    ELSIF stop THEN
        mode:=0;
    END_IF
2:
    Integ(RESET:=TRUE);
    PCH_freq:=0;
    freq:=100;
    reg_mode:=FALSE;
    dir_mode:=TRUE;
    normal:=FALSE;
    alarm:=do_alarm;
    fail:=do_fail;
    freq_begin:=100;
    IF (do_reg_mode) AND (NOT do_dir_mode) AND (NOT do_fail) THEN
        mode:=1;
    ELSIF stop THEN
        mode:=0;
    END_IF
END_CASE

```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Программа MODEL (модель аппаратуры)

```
PROGRAM MODEL
VAR
  (*ЩИТ УПРАВЛЕНИЯ*)
  HL1, HL2:BOOL; (*индикация разрезания - норма, выход за пределы*)
  SB1, SB3: BOOL; (*кнопка остановки преобразователей*)
  K1,K4:BOOL; (*реле остановки преобразователей*)

  SB2:BOOL; (*кнопка с подсветкой перевода ПЧ1 в регулирующий ре-
  жим*)
  K3_HL3:BOOL; (*реле, лампа перевода ПЧ1 в регулирующий режим*)
  K2:BOOL; (*реле команды перевода ПЧ1 в регулирующий режим*)

  SB4:BOOL; (*кнопка с подсветкой перевода ПЧ2 в регулирующий ре-
  жим*)
  K6_HL4:BOOL; (*реле, лампа перевода ПЧ2 в регулирующий режим*)
  K5:BOOL; (*реле команды перевода ПЧ2 в регулирующий режим*)

  SB5:BOOL; (*кнопка с подсветкой перевода ПЧ1 в прямой режим*)
  K8_HL5:BOOL; (*реле, лампа перевода ПЧ1 в прямой режим*)
  K7:BOOL; (*реле команды перевода ПЧ1 в прямой режим*)

  SB6:BOOL; (*кнопка с подсветкой перевода ПЧ2 в прямой режим*)
  K10_HL6:BOOL; (*реле, лампа перевода ПЧ2 в прямой режим*)
  K9:BOOL; (*реле команды перевода ПЧ2 в прямой режим*)

  K11_HL7:BOOL; (*реле, лампа HA1 закрыт*)
  K12_HL8:BOOL; (*реле, лампа HA1 открыт*)

  K13_HL9:BOOL; (*реле, лампа ПЧ1 в работе*)
  K14_HL10:BOOL; (*реле, лампа ПЧ1 неисправность*)
  K15_HL11:BOOL; (*реле, лампа ПЧ1 авария*)

  K16_HL12:BOOL; (*реле, лампа ПЧ2 в работе*)
  K17_HL13:BOOL; (*реле, лампа ПЧ2 неисправность*)
  K18_HL14:BOOL; (*реле, лампа ПЧ2 авария*)

  K19_HL15:BOOL; (*реле, лампа HA2 закрыт*)
  K20_HL16:BOOL; (*реле, лампа HA2 открыт*)

  bu21_1_auto:BOOL:=FALSE;
  bu21_1_close, bu21_1_open, bu21_1_closing, bu21_1_opening:BOOL;

  bru7_1_disp:REAL;
  bru7_1_man:REAL:=53;
  bru7_1_auto:BOOL:=FALSE;

  bu21_2_auto:BOOL:=FALSE;
  bu21_2_close, bu21_2_open, bu21_2_closing, bu21_2_opening:BOOL;

  bru7_2_disp:REAL;
```

```

bru7_2_man:REAL:=53;
bru7_2_auto:BOOL:=FALSE;

pch1, pch2: PCH;
na1, na2:NA;
ds1, ds2:DS;
TP:topka;
(*Имитация неисправностей и отказов ПЧ*)
Qv:REAL:=50;
pch1_do_alarm, pch1_do_fail, pch2_do_alarm, pch2_do_fail:BOOL;

END_VAR

IF upress < 40 AND upress > 20 THEN
    HL1:=TRUE;
    HL2:=FALSE;
ELSE
    HL2:=TRUE;
    HL1:=FALSE;
END_IF
IF bu21_1_auto THEN
    na1_auto_mode:=TRUE;
    bu21_1_closing:=na1_close AND NOT na1_open;
    bu21_1_opening:=na1_open AND NOT na1_close;
ELSE
    na1_auto_mode:=FALSE;
    bu21_1_closing:=bu21_1_close AND NOT bu21_1_open;
    bu21_1_opening:=bu21_1_open AND NOT bu21_1_close;
END_IF
IF bru7_1_auto THEN
    pch1_auto_mode:=TRUE;
    bru7_1_disp:=pch1_ref_freq;
    bru7_1_man:=pch1_ref_freq;
ELSE
    pch1_auto_mode:=FALSE;
    bru7_1_disp:=bru7_1_man;
END_IF

IF bu21_2_auto THEN
    na2_auto_mode:=TRUE;
    bu21_2_closing:=na2_close AND NOT na2_open;
    bu21_2_opening:=na2_open AND NOT na2_close;
ELSE
    na2_auto_mode:=FALSE;
    bu21_2_closing:=bu21_2_close AND NOT bu21_2_open;
    bu21_2_opening:=bu21_2_open AND NOT bu21_2_close;
END_IF
IF bru7_2_auto THEN
    pch2_auto_mode:=TRUE;
    bru7_2_disp:=pch2_ref_freq;
    bru7_2_man:=pch2_ref_freq;
ELSE
    pch2_auto_mode:=FALSE;

```

```

    bru7_2_disp:=bru7_2_man;
END_IF
pchl_ref_freq_real:=bru7_1_disp;
pchl2_ref_freq_real:=bru7_2_disp;

pchl(ref_freq:=bru7_1_disp, do_reg_mode:=K2,do_dir_mode:=K7,
stop:=K1, do_alarm:=pchl_do_alarm, do_fail:=pchl_do_fail);
pchl_freq:=pchl.freq;
pchl2(ref_freq:=bru7_2_disp, do_reg_mode:=K5,do_dir_mode:=K9,
stop:=K4, do_alarm:=pchl2_do_alarm, do_fail:=pchl2_do_fail);
pchl2_freq:=pchl2.freq;
na1(open:=bu21_1_opening, close:=bu21_1_closing);
na1_poz:=na1.Pol;
na2(open:=bu21_2_opening, close:=bu21_2_closing);
na2_poz:=na2.Pol;

K1:= SB1 OR pchl_do_stop;
K2:= SB2 OR (pchl_do_reg_mode AND bru7_1_auto);
K3_HL3:=pchl.reg_mode; pchl_reg_mode:=K3_HL3;
K4:= SB3 OR pchl2_do_stop;
K5:= SB4 OR (pchl2_do_reg_mode AND bru7_2_auto);
K6_HL4:=pchl2.reg_mode; pchl2_reg_mode:=K6_HL4;
K7:= SB5 OR (pchl_do_dir_mode AND bu21_1_auto);
K8_HL5:=pchl.dir_mode; pchl_dir_mode:=K8_HL5;
K9:= SB6 OR (pchl2_do_dir_mode AND bu21_2_auto);
K10_HL6:=pchl2.dir_mode; pchl2_dir_mode:=K10_HL6;
K11_HL7:=na1.cl_ed; na1_closed:=K11_HL7;
K12_HL8:=na1.op_ed; na1_opened:=K12_HL8;
K13_HL9:=pchl.normal; pchl_normal:=K13_HL9;
K14_HL10:=pchl.alarm; pchl_alarm:=K14_HL10;
K15_HL11:=pchl.fail; pchl_fail:=K15_HL11;
K16_HL12:=pchl2.normal; pchl2_normal:=K16_HL12;
K17_HL13:=pchl2.alarm; pchl2_alarm:=K17_HL13;
K18_HL14:=pchl2.fail; pchl2_fail:=K18_HL14;
K19_HL15:=na2.cl_ed; na2_closed:=K19_HL15;
K20_HL16:=na2.op_ed; na2_opened:=K20_HL16;
ds1(freq:=pchl.freq,na_poz:=na1.Pol);
ds2(freq:=pchl2.freq,na_poz:=na2.Pol);
tp(Qds1:=ds1.Q, Qds2:=ds2.Q, Qv:=Qv);
upress:=tp.P;

```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Функциональный блок NA\_CONTROL (управление направляющим аппаратом)

```
FUNCTION_BLOCK NA_CONTROL
VAR_INPUT
    na_ref_poz:REAL;
    na_poz:REAL;
    dead_zone:REAL;
    minimal_time:TIME;
    na_opened, na_closed:BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    open:BOOL;
    close:BOOL;
END_VAR
VAR
    timer:TON;
    error:REAL;
    state:BYTE:=0; (*1 - opening, 2 - closing, 0 - stoping*)
END_VAR
error:=na_ref_poz - na_poz;
timer(IN:=TRUE, PT:=minimal_time);
CASE state OF
0:    open:=FALSE;
      close:=FALSE;
      IF error>dead_zone AND (NOT na_opened) AND timer.Q THEN
          timer(IN:=FALSE);
          state:=1;
      ELSIF error<-dead_zone AND (NOT na_closed) AND timer.Q THEN
          timer(IN:=FALSE);
          state:=2;
      END_IF
1:    open:=TRUE;
      close:=FALSE;
      IF (ABS(error)<dead_zone OR na_opened) AND timer.Q THEN
          timer(IN:=FALSE);
          state:=0;
      END_IF
      IF (error<-dead_zone) AND timer.Q THEN
          timer(IN:=FALSE);
          state:=2;
      END_IF
2:    open:=FALSE;
      close:=TRUE;
      IF (ABS(error)<dead_zone OR na_closed) AND timer.Q THEN
          timer(IN:=FALSE);
          state:=0;
      END_IF
      IF (error>dead_zone) AND timer.Q THEN
          timer(IN:=FALSE);
          state:=1;
      END_IF
END_CASE
END_BLOCK
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Программа CONTROL (управление)

```
PROGRAM CONTROL
VAR
    NC1,NC2:NA_CONTROL;
    PIDreg:PID;
    ref:REAL:=100;
    yman:REAL;
    man:BOOL;
END_VAR

(*РЕГУЛИРОВАНИЕ*)
yman:=(pch1_freq*na1_poz + pch2_freq*na2_poz)/200;
man:=pch1_normal AND pch1_auto_mode AND pch1_do_auto_mode_from_scada;
man:=man OR (pch2_normal AND pch2_auto_mode AND pch2_do_auto_mode_from_scada);
man:=man OR (pch1_dir_mode AND na1_auto_mode AND na1_do_auto_mode_from_scada);
man:=man OR (pch2_dir_mode AND na2_auto_mode AND na2_do_auto_mode_from_scada);
man:= NOT man;
PIDreg(ACTUAL:=upress, SET_POINT:=30,KP:=0.1,TN:=10,TV:=0, Y_MANUAL:=yman,Y_OFFSET:=55,Y_MIN:=0,
        Y_MAX:=100,MANUAL:=man);
ref:=PIDreg.Y;

(*ЗАПИСЬ В SCADA*)
pch1_reg_mode_to_scada:=pch1_reg_mode;
pch1_dir_mode_to_scada:=pch1_dir_mode;
pch1_auto_mode_to_scada:=pch1_auto_mode;
pch1_normal_to_scada:=pch1_normal;
pch1_alarm_to_scada:=pch1_alarm;
pch1_fail_to_scada:=pch1_fail;
pch1_freq_to_scada:=pch1_freq;
pch1_ref_freq_to_scada:=pch1_ref_freq_real;
```

```
pch2_reg_mode_to_scada:=pch2_reg_mode;
pch2_dir_mode_to_scada:=pch2_dir_mode;
pch2_auto_mode_to_scada:=pch2_auto_mode;
pch2_normal_to_scada:=pch2_normal;
pch2_alarm_to_scada:=pch2_alarm;
pch2_fail_to_scada:=pch2_fail;
pch2_freq_to_scada:=pch2_freq;
pch2_ref_freq_to_scada:=pch2_ref_freq_real;
```

```
na1_closed_to_scada:=na1_closed;
na1_opened_to_scada:=na1_opened;
na1_poz_to_scada:=na1_poz;
na1_auto_mode_to_scada:=na1_auto_mode;
```

```
na2_closed_to_scada:=na2_closed;
na2_opened_to_scada:=na2_opened;
na2_poz_to_scada:=na2_poz;
na2_auto_mode_to_scada:=na2_auto_mode;
```

```
upress_to_scada:=upress;
```

(\*ЧТЕНИЕ ИЗ SCADA И ВЫПОЛНЕНИЕ\*)

```
pch1_do_stop:=pch1_do_stop_from_scada;
pch1_do_reg_mode:=pch1_do_reg_mode_from_scada AND pch1_auto_mode;
pch1_do_dir_mode:=pch1_do_dir_mode_from_scada AND na1_auto_mode;
```

```
pch2_do_stop:=pch2_do_stop_from_scada;
pch2_do_reg_mode:=pch2_do_reg_mode_from_scada AND pch2_auto_mode;
pch2_do_dir_mode:=pch2_do_dir_mode_from_scada AND na2_auto_mode;
```

(\*Управление направляющими аппаратами\*)

```
IF pch1_normal AND na1_auto_mode AND na1_do_auto_mode_from_scada AND pch1_auto_mode AND
   pch1_do_auto_mode_from_scada THEN
  (*уход на 100%*)
```

```

    NC1(na_ref_poz:=101, na_poz:=na1_poz, dead_zone:=0.4, minimal_time:=T#500ms,
na_opened:=na1_opened, na_closed:=na1_closed);
na1_open:=NC1.open;
na1_close:=NC1.close;
ELSIF pch1_dir_mode AND na1_auto_mode AND na1_do_auto_mode_from_scada THEN
    (*автоматическое регулирование*)
    NC1(na_ref_poz:=ref, na_poz:=na1_poz, dead_zone:=0.4, minimal_time:=T#500ms, na_opened:=
na1_opened, na_closed:=na1_closed);
na1_open:=NC1.open;
na1_close:=NC1.close;
ELSIF na1_auto_mode AND NOT na1_do_auto_mode_from_scada THEN
    (*ручное управление из SCADA*)
    NC1(na_ref_poz:=na1_poz, na_poz:=na1_poz, dead_zone:=0.4, minimal_time:=T#500ms, na_opened:=
na1_opened, na_closed:=na1_closed);
na1_open:=na1_open_from_scada;
na1_close:=na1_close_from_scada;
ELSE
    (*местное управление*)
    NC1(na_ref_poz:=na1_poz, na_poz:=na1_poz, dead_zone:=0.4, minimal_time:=T#500ms, na_opened:=
na1_opened, na_closed:=na1_closed);
na1_open:=FALSE;
na1_close:=FALSE;
END_IF

IF pch2_normal AND na2_auto_mode AND na2_do_auto_mode_from_scada AND pch2_auto_mode AND
pch2_do_auto_mode_from_scada THEN
    (*уход на 100%*)
    NC2(na_ref_poz:=101, na_poz:=na2_poz, dead_zone:=0.4, minimal_time:=T#500ms, na_opened:=
na2_opened, na_closed:=na2_closed);
na2_open:=NC2.open;
na2_close:=NC2.close;
ELSIF pch2_dir_mode AND na2_auto_mode AND na2_do_auto_mode_from_scada THEN
    (*автоматическое регулирование*)
    NC2(na_ref_poz:=ref, na_poz:=na2_poz, dead_zone:=0.4, minimal_time:=T#500ms, na_opened:=

```



```

    na2_opened,na_closed:=na2_closed);
na2_open:=NC2.open;
na2_close:=NC2.close;
ELSIF na2_auto_mode AND NOT na2_do_auto_mode_from_scada THEN
    (*ручное управление из SCADA*)
    NC2(na_ref_poz:=na2_poz,na_poz:=na2_poz, dead_zone:=0.4,minimal_time:=T#500ms,na_opened:=
na2_opened,na_closed:=na2_closed);
na2_open:=na2_open_from_scada;
na2_close:=na2_close_from_scada;
ELSE
    (*местное управлением*)
    NC2(na_ref_poz:=na2_poz,na_poz:=na2_poz, dead_zone:=0.4,minimal_time:=T#500ms,na_opened:=
na2_opened,na_closed:=na2_closed);
na2_open:=FALSE;
na2_close:=FALSE;
END_IF

IF pch1_auto_mode AND pch1_do_auto_mode_from_scada THEN
    (*автоматическое регулирование*)
    pch1_ref_freq:=ref;
ELSIF pch1_auto_mode AND NOT pch1_do_auto_mode_from_scada THEN
    (*ручное управление из SCADA*)
    IF pch1_ref_freq_plus_from_scada THEN
        pch1_ref_freq:=pch1_ref_freq_real +0.2;
        IF pch1_ref_freq > 100 THEN
            pch1_ref_freq:=100;
        END_IF
    ELSIF pch1_ref_freq_minus_from_scada THEN
        pch1_ref_freq:=pch1_ref_freq_real -0.2;
        IF pch1_ref_freq < 0 THEN
            pch1_ref_freq:=0;
        END_IF
    ELSE
        pch1_ref_freq:=pch1_ref_freq_real;

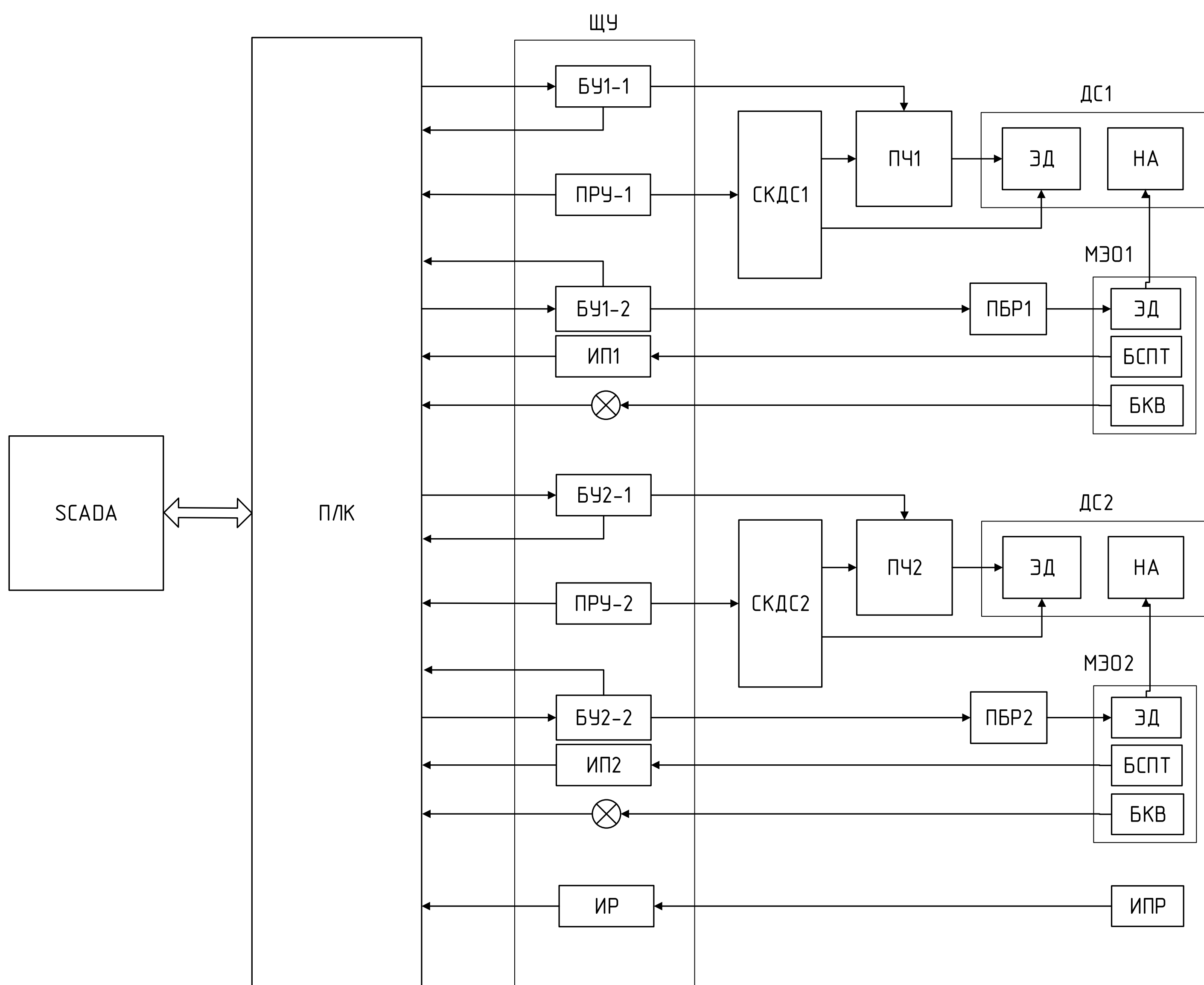
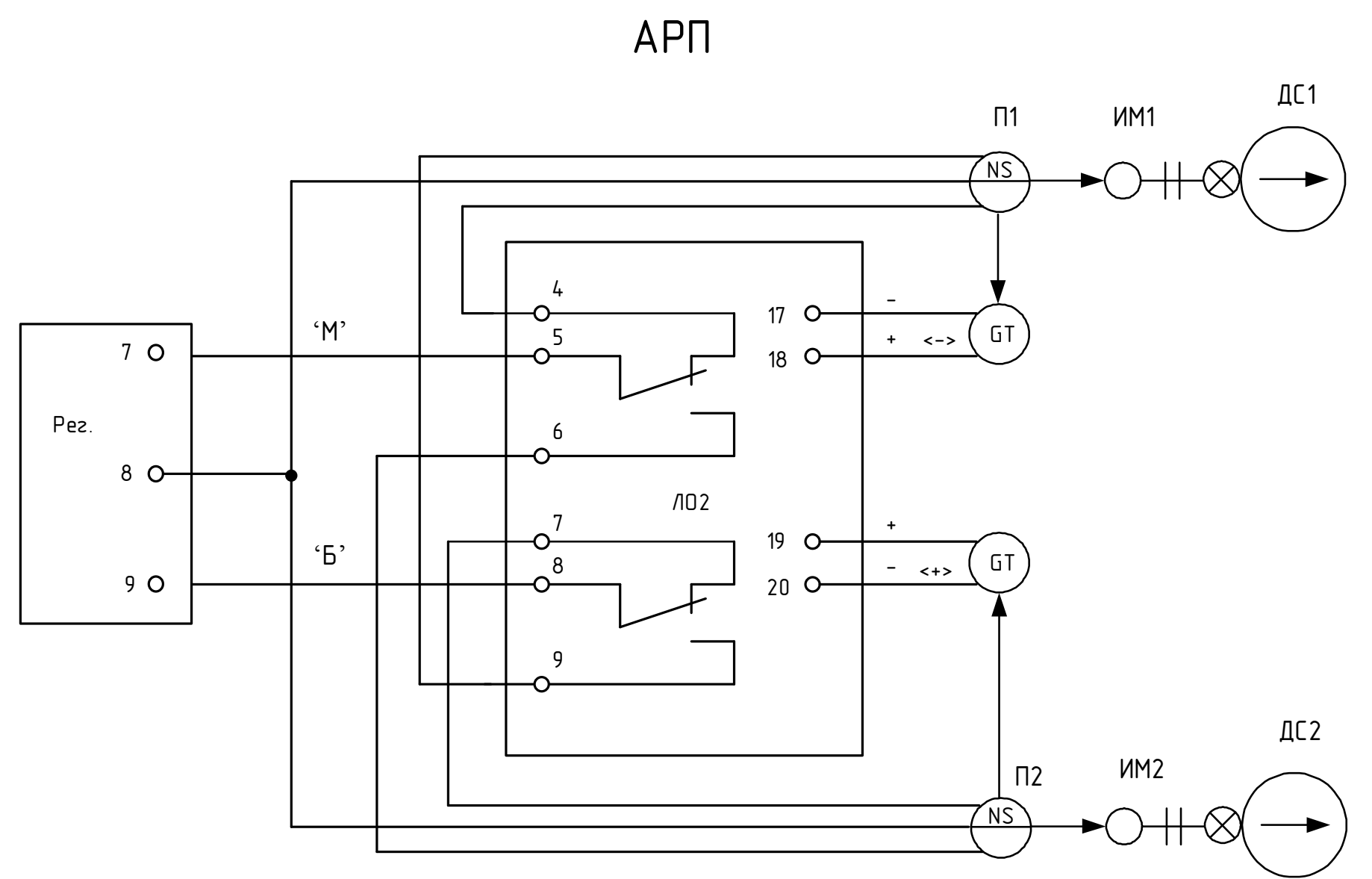
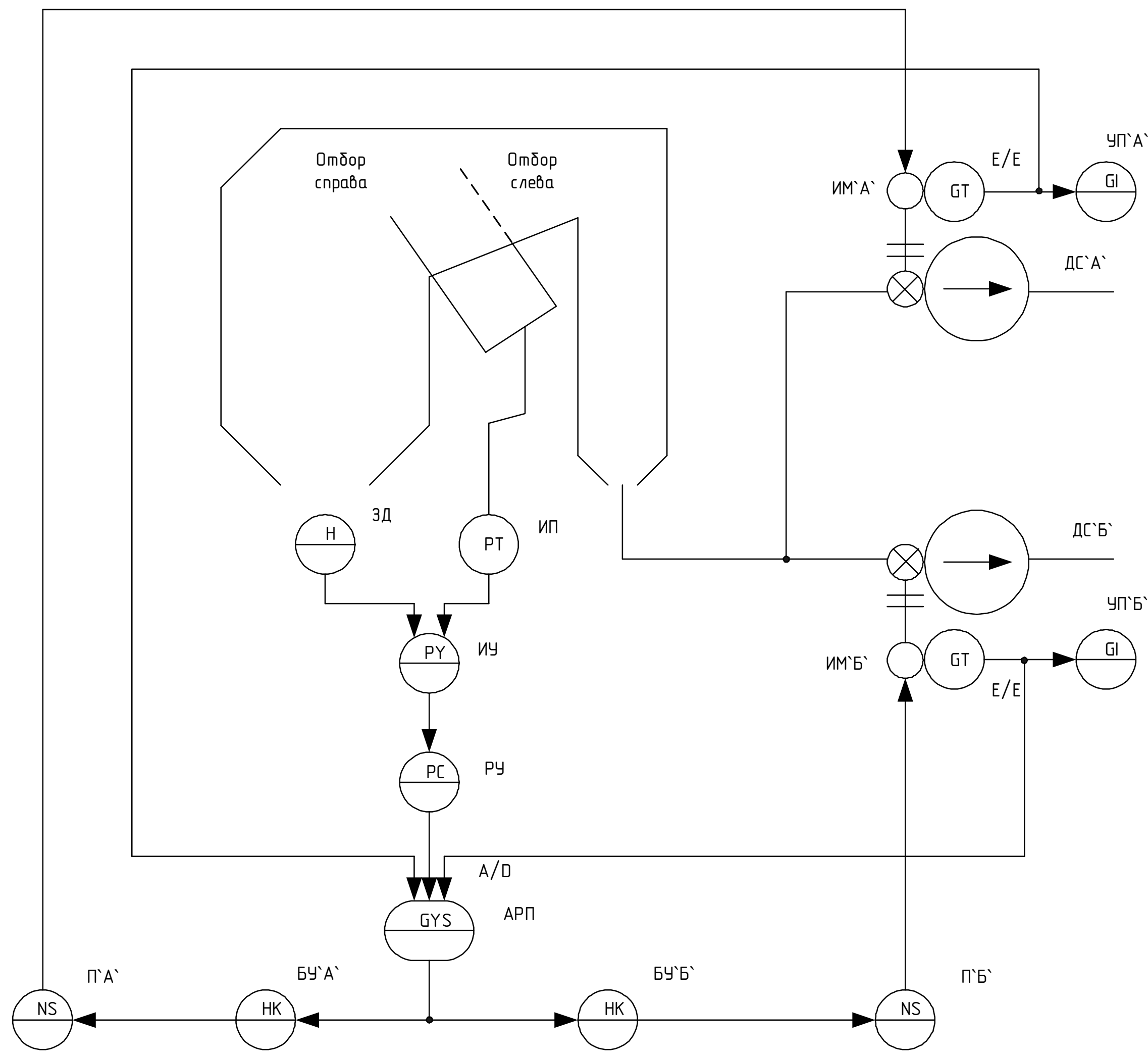
```

```

        END_IF
ELSE
    (*местное управление*)
    pch1_ref_freq:=pch1_ref_freq_real;
END_IF

IF pch2_auto_mode AND pch2_do_auto_mode_from_scada THEN
    (*автоматическое регулирование*)
    pch2_ref_freq:=ref;
ELSIF pch2_auto_mode AND NOT pch2_do_auto_mode_from_scada THEN
    (*ручное управление из SCADA*)
    IF pch2_ref_freq_plus_from_scada THEN
        pch2_ref_freq:=pch2_ref_freq_real +0.2;
        IF pch2_ref_freq > 100 THEN
            pch2_ref_freq:=100;
        END_IF
    ELSIF pch2_ref_freq_minus_from_scada THEN
        pch2_ref_freq:=pch2_ref_freq_real -0.2;
        IF pch2_ref_freq < 0 THEN
            pch2_ref_freq:=0;
        END_IF
    ELSE
        pch2_ref_freq:=pch2_ref_freq_real;
    END_IF
ELSE
    (*местное управление*)
    pch2_ref_freq:=pch2_ref_freq_real;
END_IF

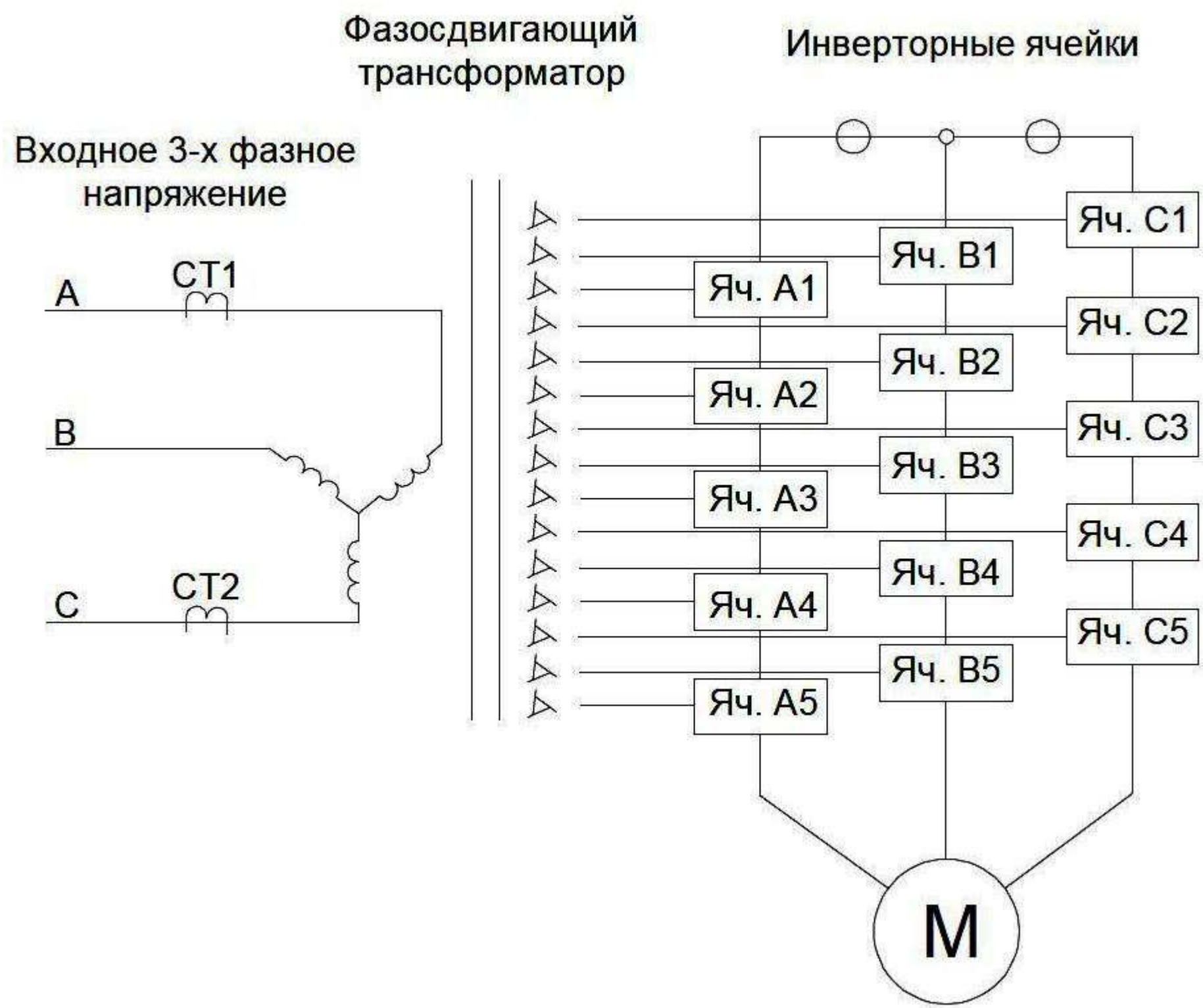
```



БУ1-2, БУ2-2 – блоки управления направляющими аппаратами дымососов;  
 ПРУ-1, ПРУ-2 – переключатели режимов управления двигателями дымососов;  
 индикаторы полного открытия/закрытия направляющего аппарата дымососов;  
 ИП1,ИП2 – индикаторы положения направляющих аппаратов;  
 ИР – индикатор разрежения;  
 СКДС1,2 – системы коммутации дымососов;  
 ПЧ1, ПЧ2 – преобразователи частоты;  
 ДС1, ДС2 – дымососы;  
 ЭД – электродвигатели;  
 НА – направляющие аппараты;  
 МЭО1, МЭО2 – электроприборы электрические однооборотные;  
 ЭД – электродвигатели;  
 БСПТ – блоки сигнализации положения токовые;  
 БКВ – блоки конечных выключателей;  
 ПБР1, ПБР2 – пускатели бесконтактные реверсивные;  
 ИПР – измерительный преобразователь разрежения.

ВКР.132204.15.03.04.СХ				Литера	Масса	Масшт
Изм	Лист	№ Документа	Подп	Дата		
Разраб	Павлов Д.А.					
Пробер	Безруков Н.С.					
Т.Контр	Безруков Н.С.				Лист 1	Листов 6
Н.Контр	Скрипко О.В.				Регулирование разряжения в топке котла Райчихинской ГРЭС	
Умб	Остапенко А.А.				АМГУ 341-зсб	

Схема силовой части



Структура системы управления

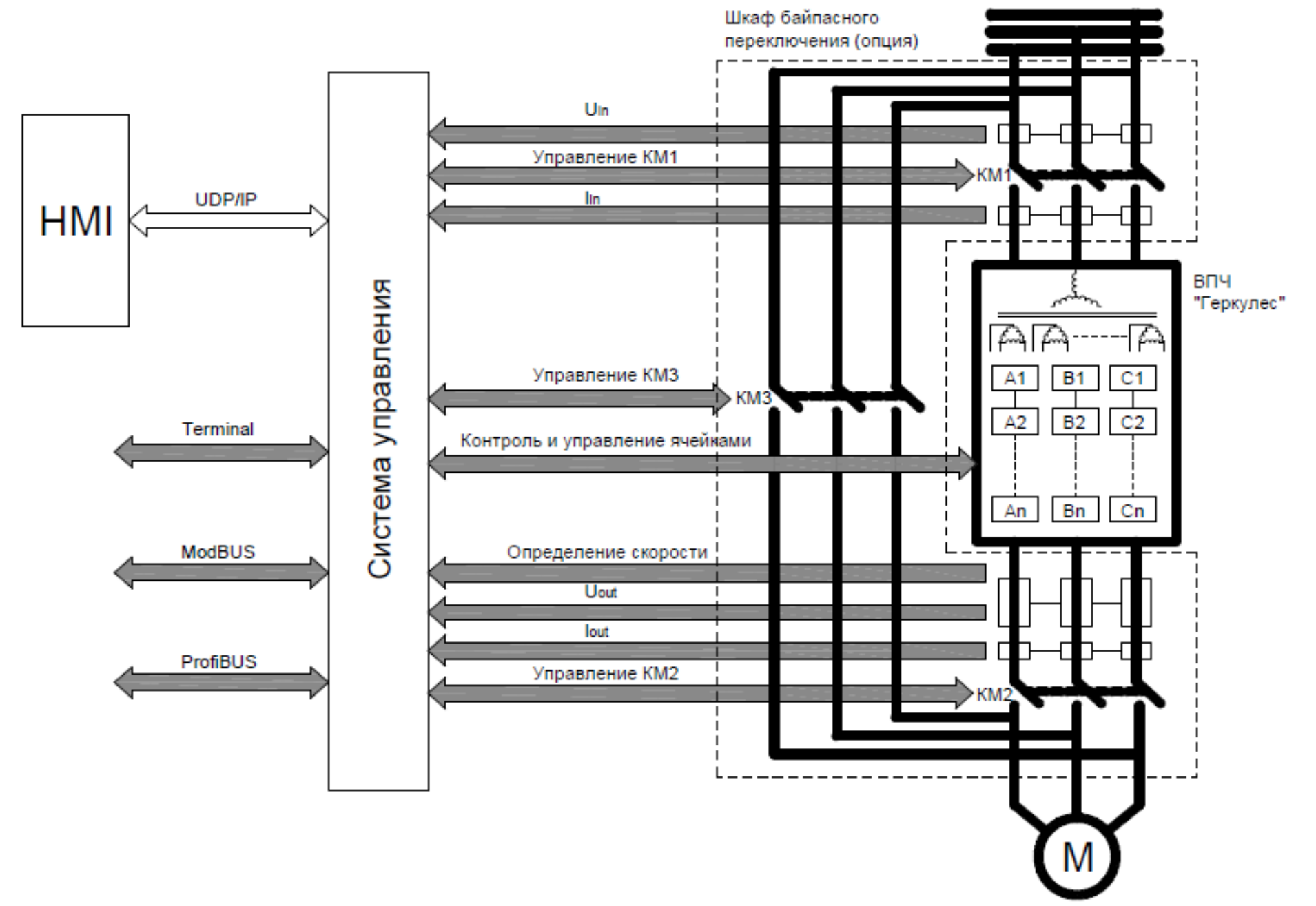


Схема ячейки

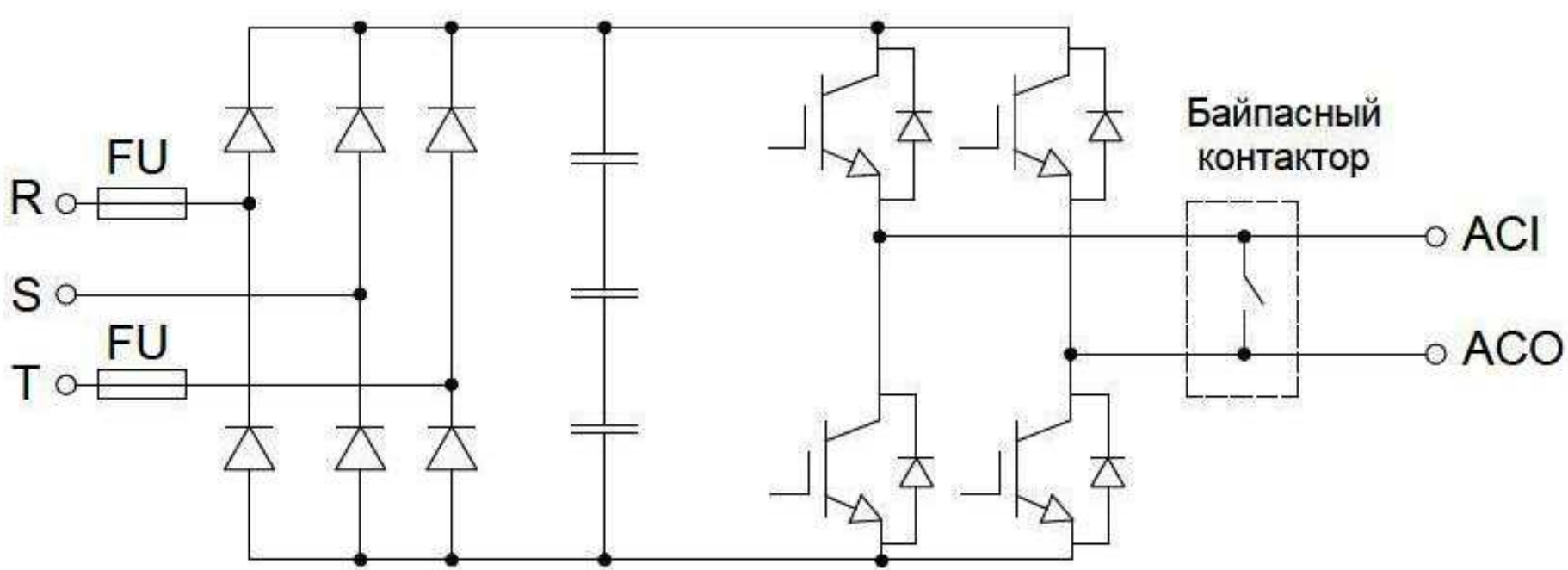


Схема подключения цепей управления

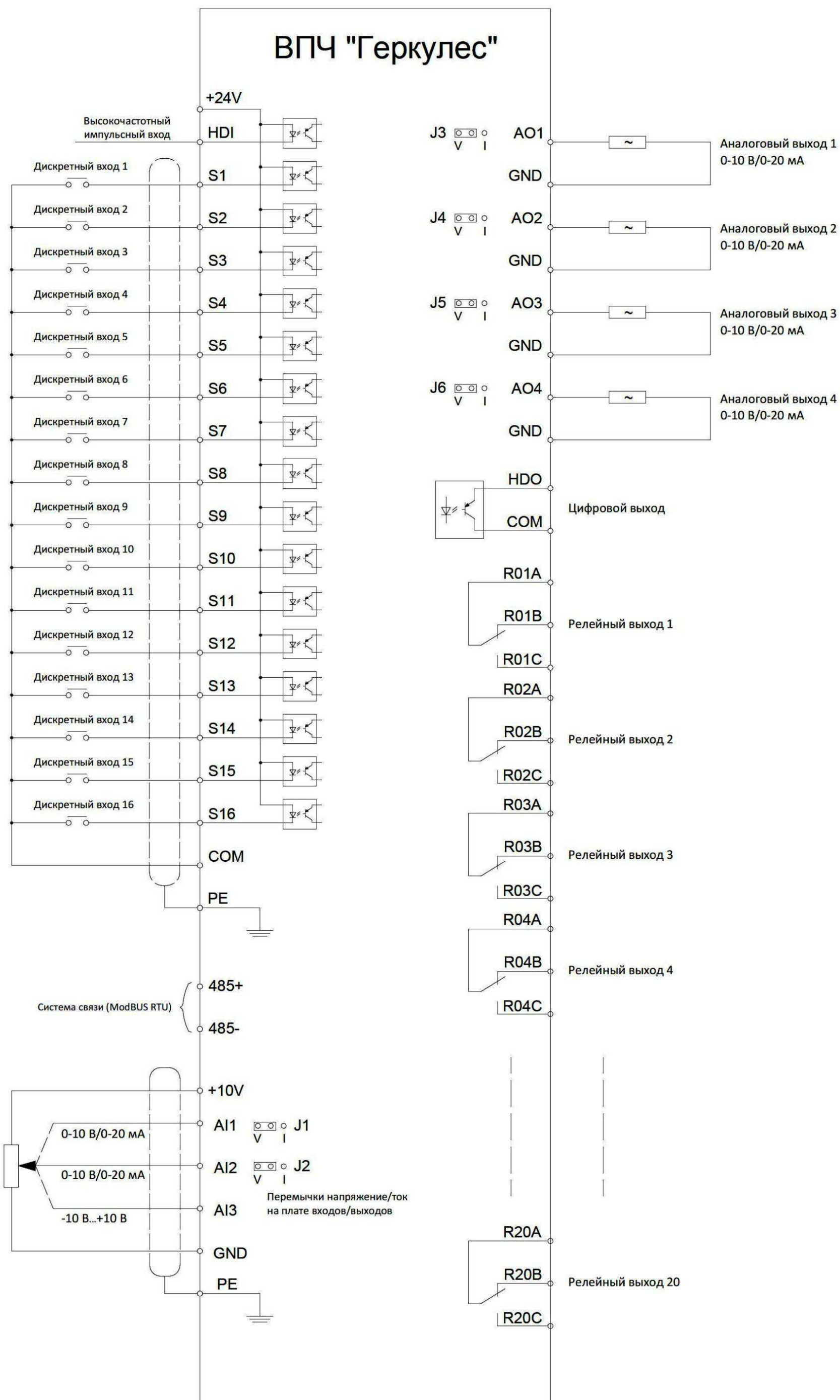
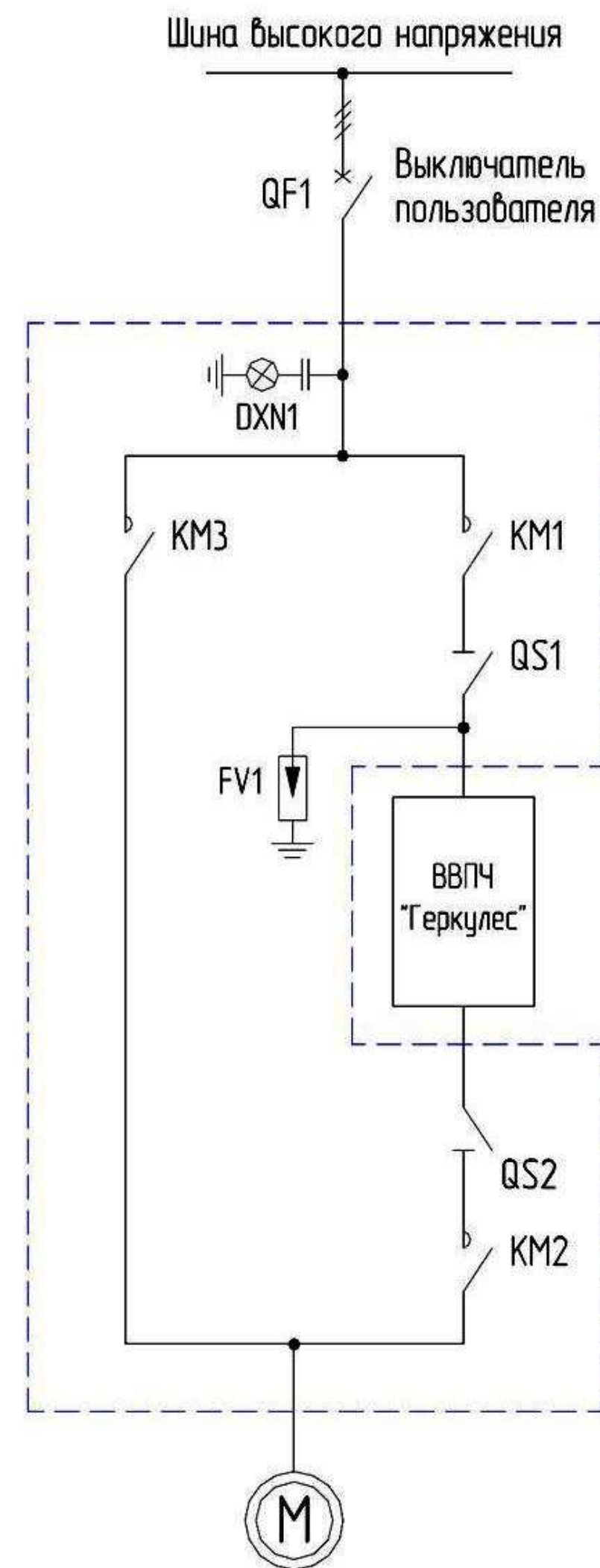
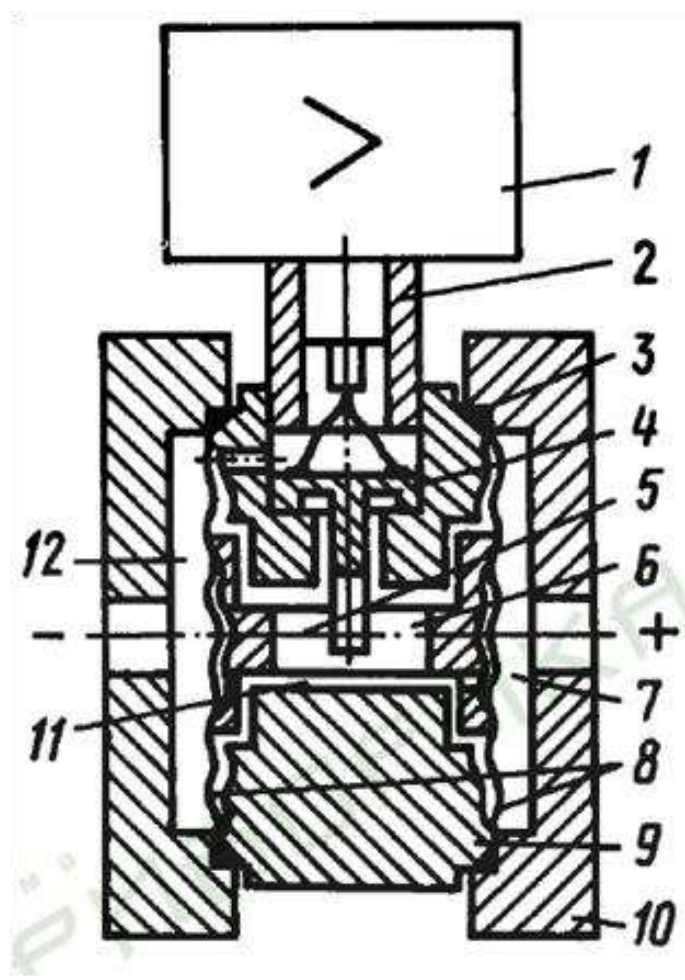


Схема подключения силовых цепей



				ВКР.132204.15.03.04.СХ				
Изм	Лист	№ Документа	Подп.	Дата	Устройство преобразователя частоты	Литера	Масса	Масшт
Разраб.	Павлов Д.А.					Лист 2	Листов 6	
Провер.	Безрыков Н.С.							
Т.Контр.	Безрыков Н.С.							
Н.Контр.	Скрипко О.В.				Регулирование разрядки в топке котла Райчихинской ГРЭС	АМГУ 341-зсб		
Чтб.	Остапенко А.А.							

Схема преобразователя Сапфир-22М-ДИВ



- 1 - электронное устройство;
- 2 - гермоввод;
- 3 - прокладки;
- 4 - тензопреобразователь мембранно-рычажного типа;
- 5 - тяга;
- 6 - центральный шток;
- 7 - измерительная камера;
- 8 - металлические гофрированные мембраны;
- 9 - основание;
- 10 - фланцы;
- 11 - замкнутая полость, заполненная кремнийорганической жидкостью;
- 12 - камера, сообщенная с окружающей атмосферой.

Схема подключения Сапфир-22М-ДИВ

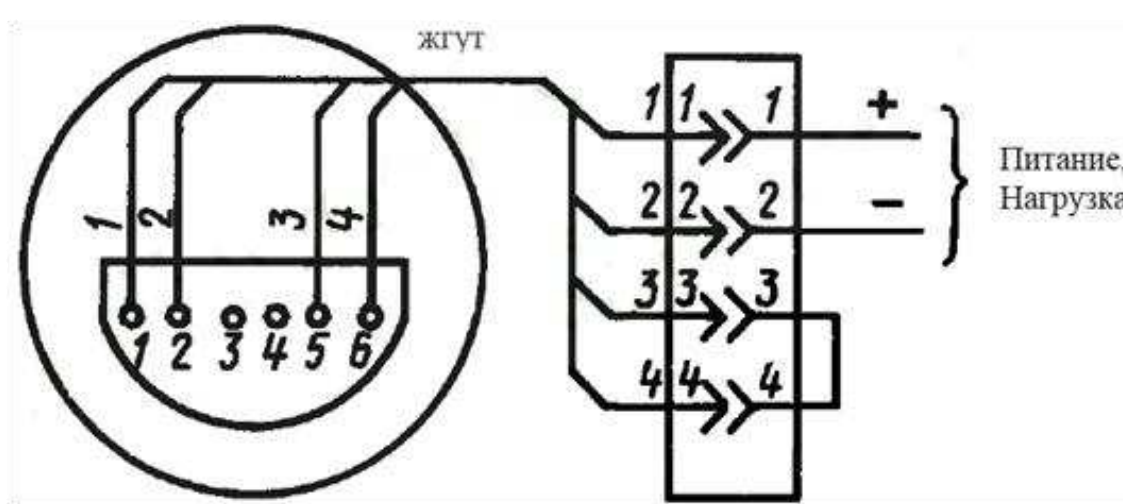


Схема подключения МЭО-250/63-0,63-99К

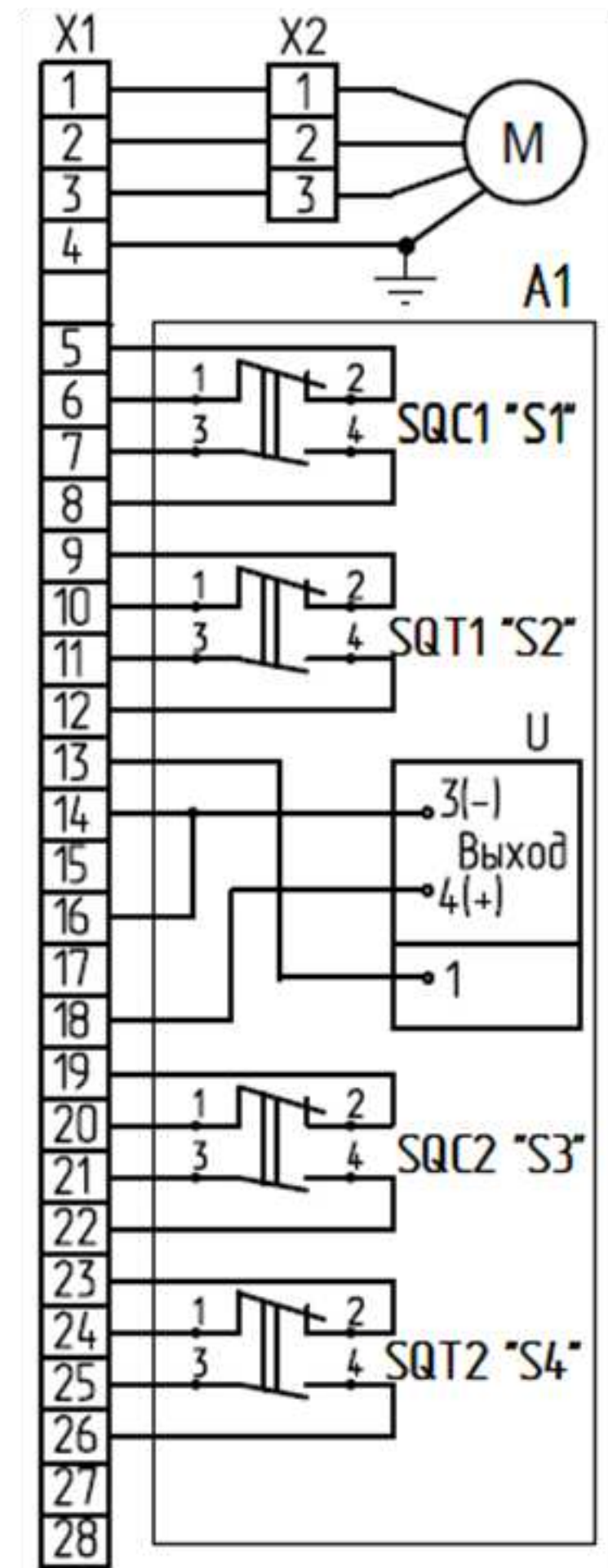


Схема подключения ПБР ЭМ

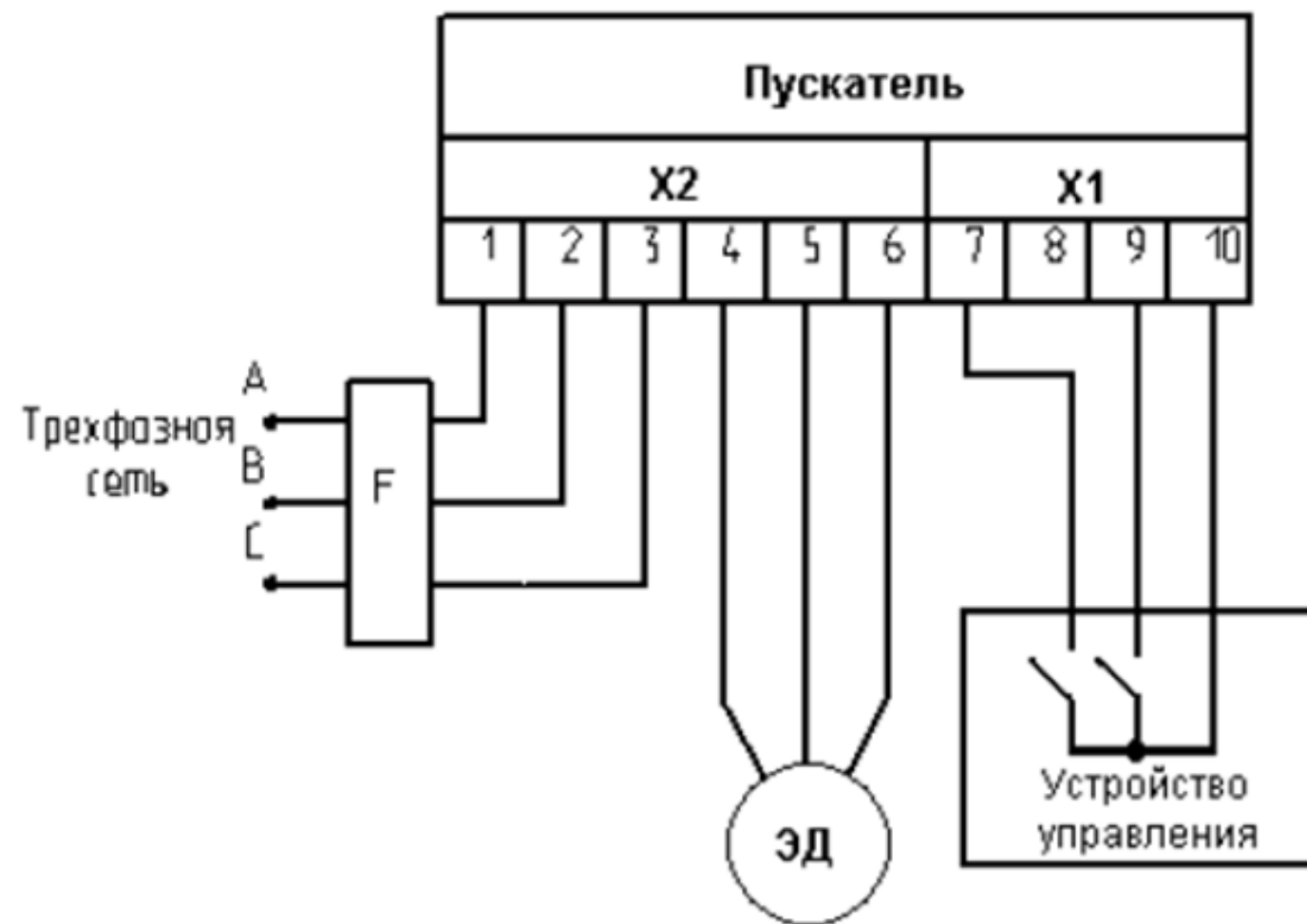


Схема подключения БРУ-7

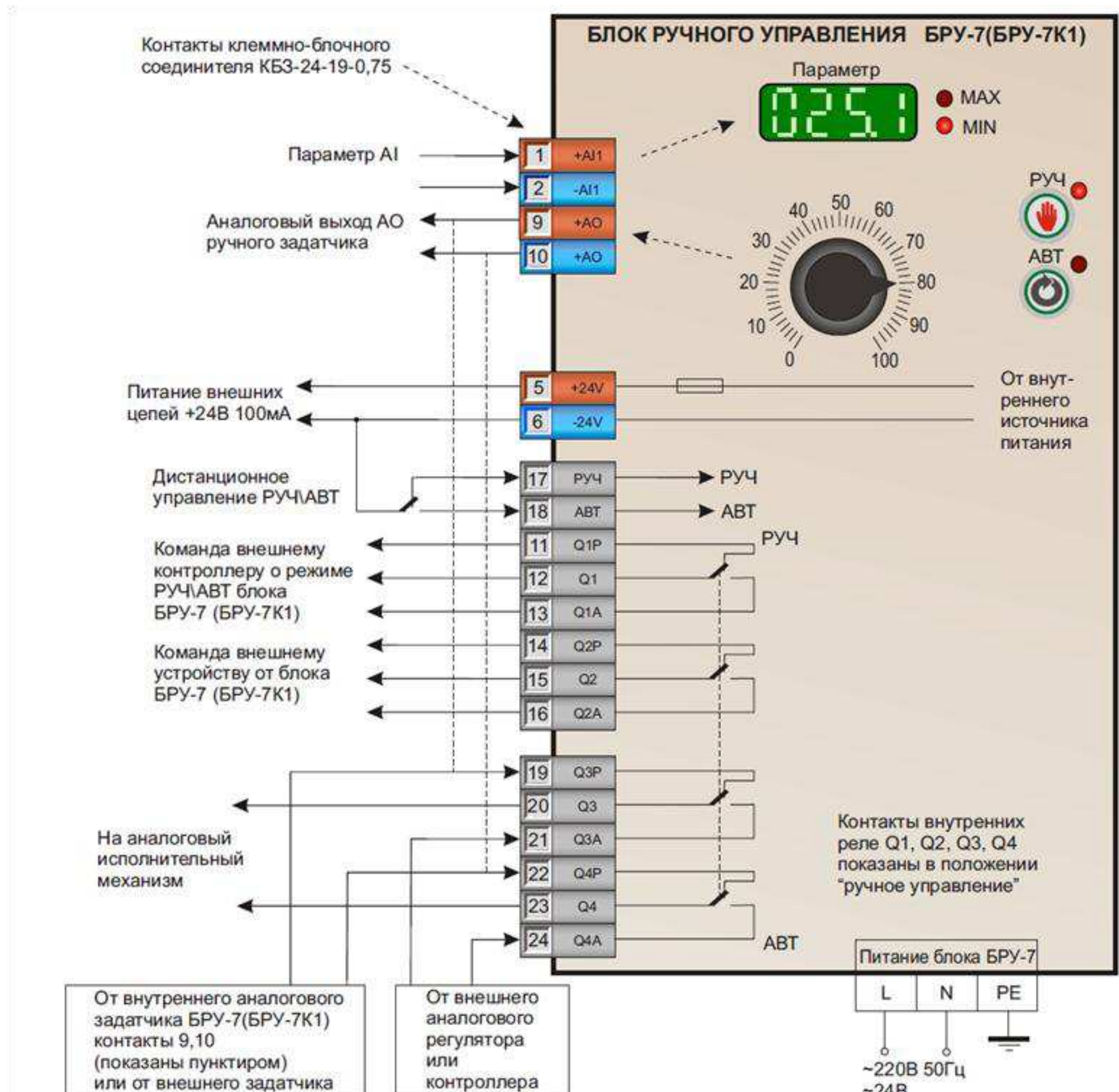


Схема подключения БУ21

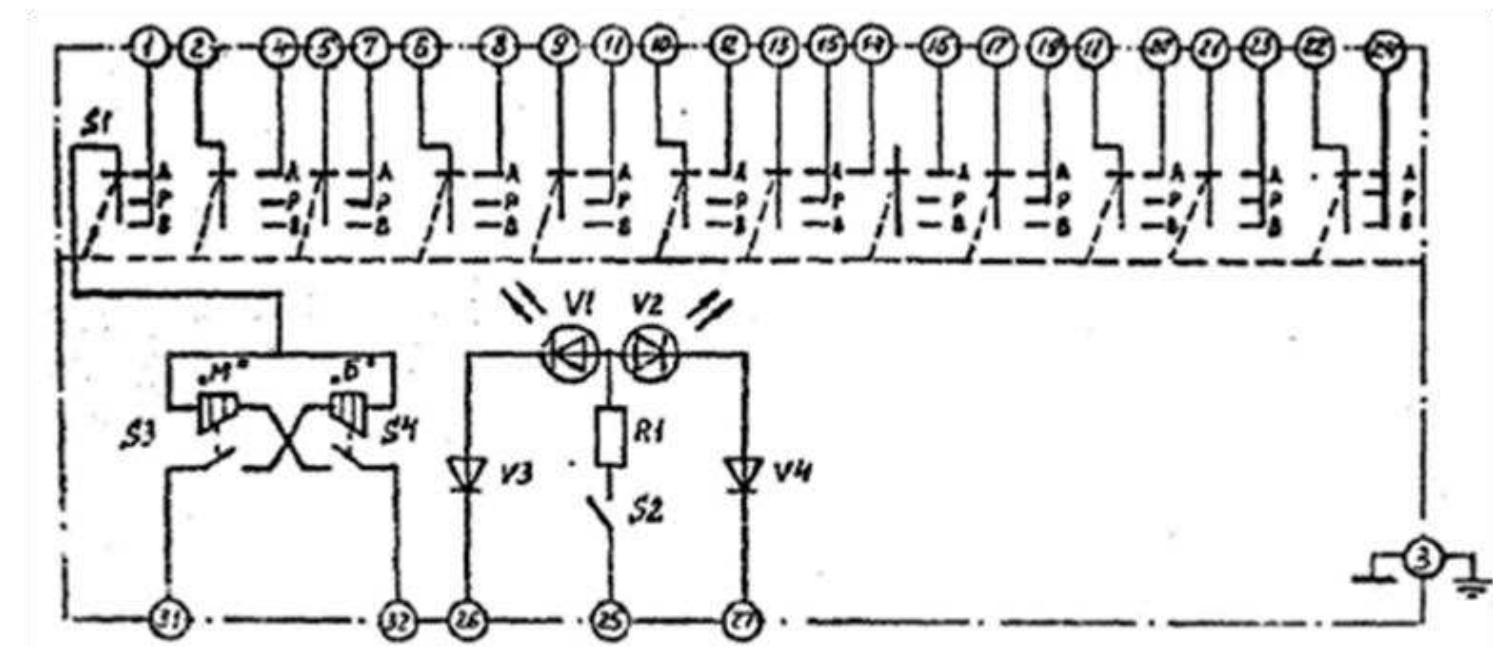
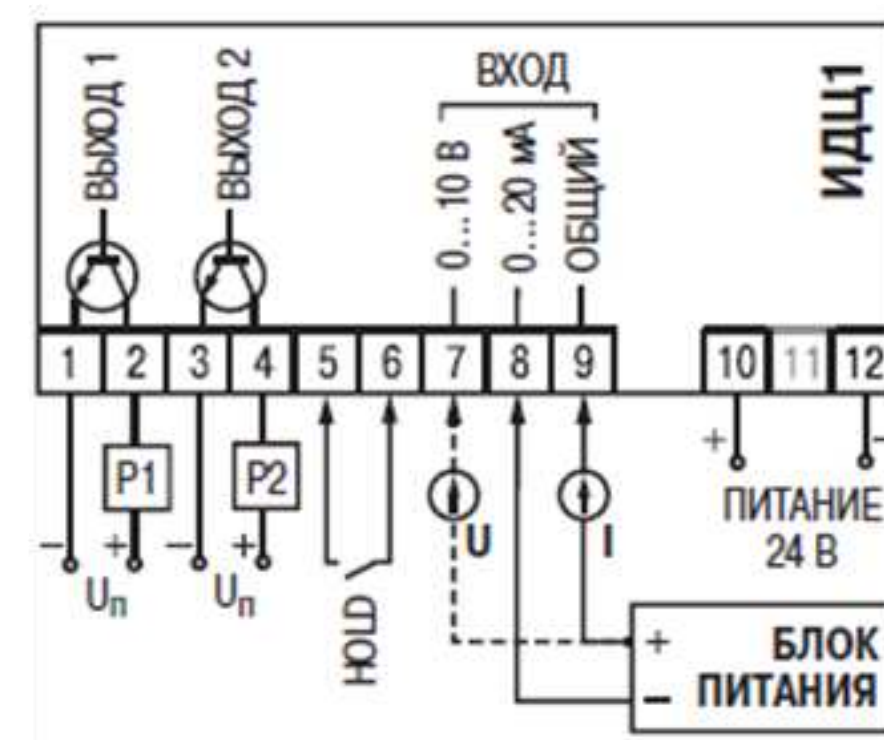


Схема подключения ИДЦ1



					ВКР.132204.15.03.04.СХ			
Изм	Лист	№ Докумен	Подп	Дата	Устройство и схемы подключения измерительного преобразователя, исполнительных механизмов, блока управления и индикации	Литера	Масса	Масшт
Разраб		Павлов Д.А.				Лист 3	Листов 6	
Провер		Безрыков Н.С.						
Т.Контр		Безрыков Н.С.			Регулирование разряжения в топке котла Райчихинской ГРЭС	АМГУ 341-зсб		
Н.Контр		Скрипко О.В.						
Чтв		Остапенко А.А.						

## Лицевая панель щита управления

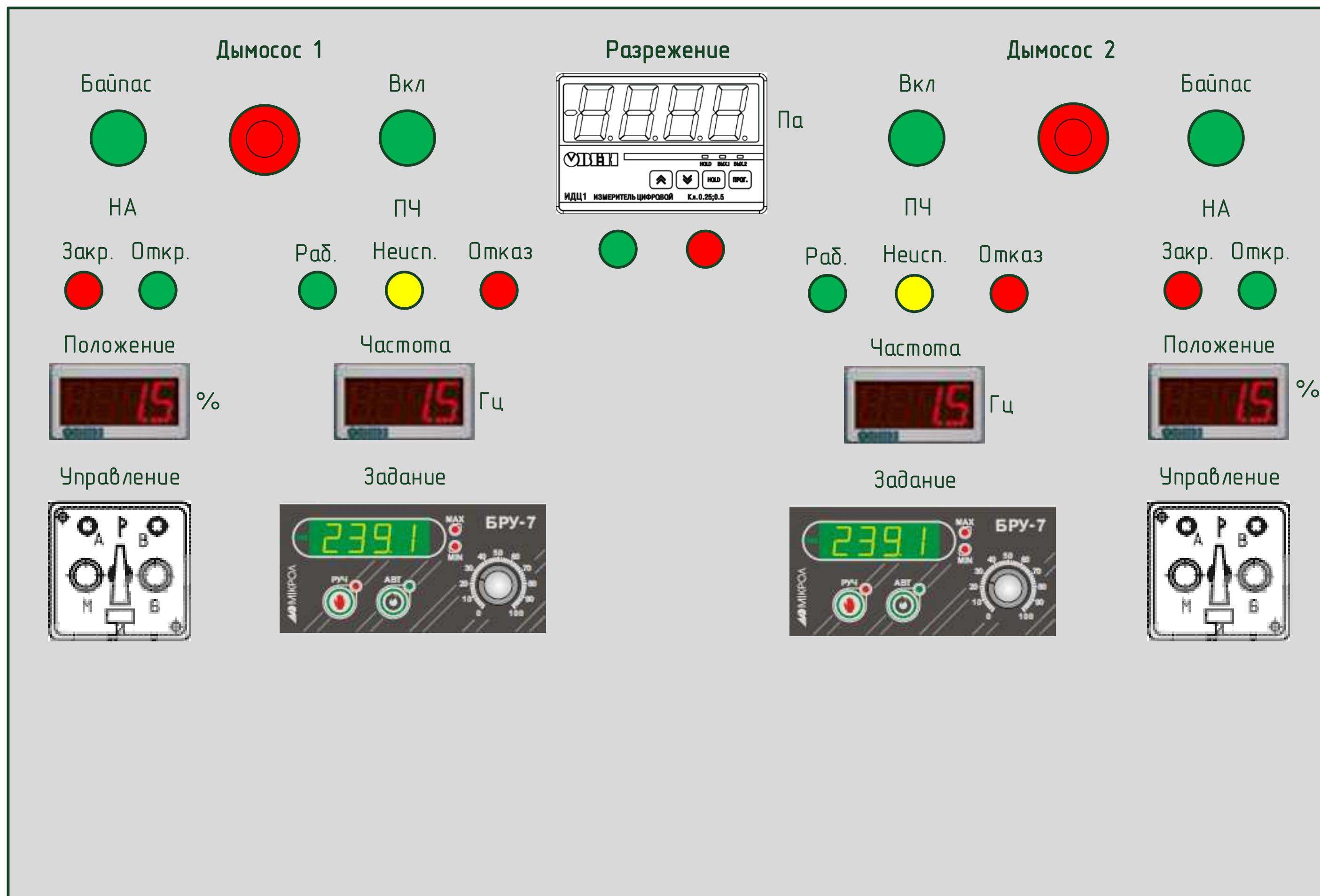
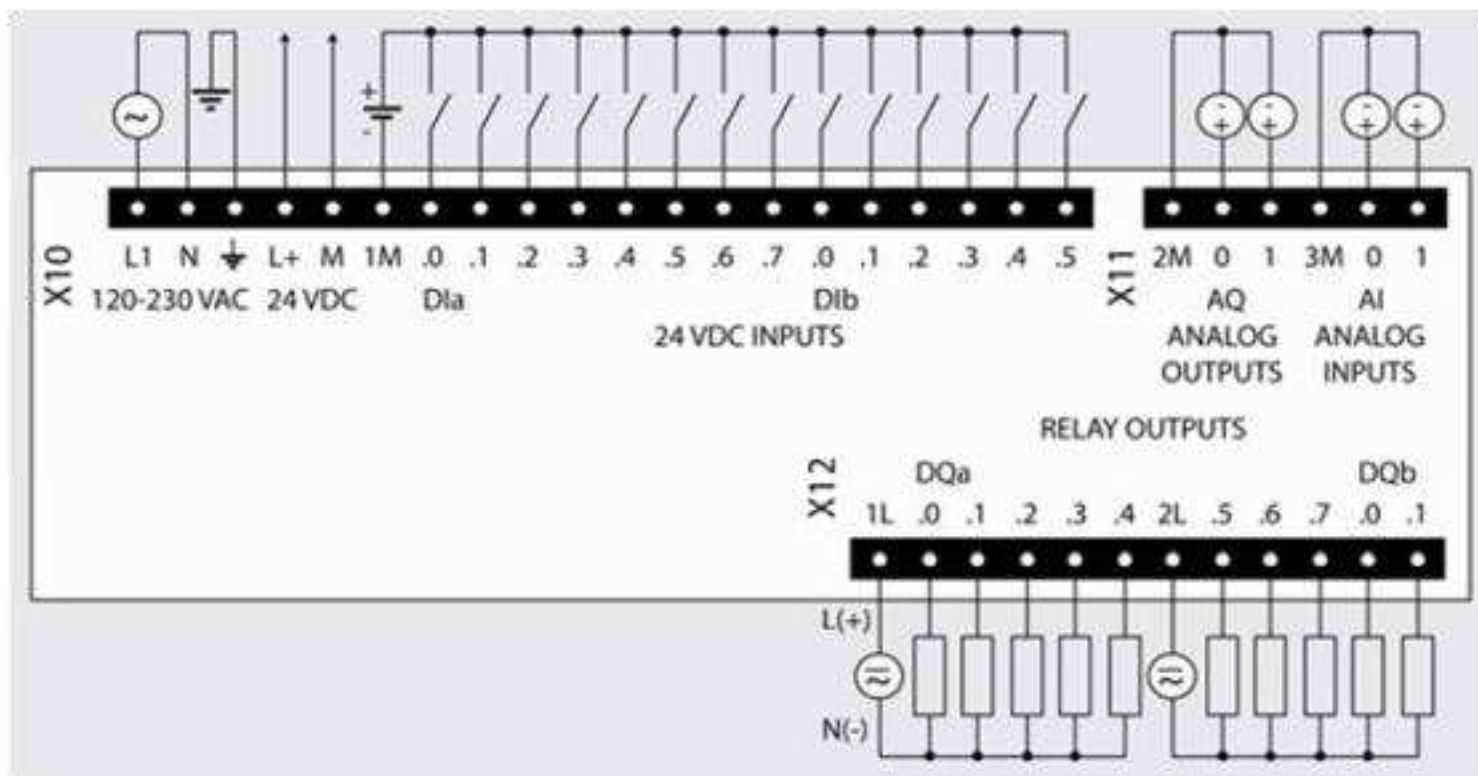


Схема подключения CPU 1215C 6ES7 215-1BG31-0XB0



Основные технические характеристики CPU 1215C 6ES7 215-1BG31-0XB0

Параметр	Значение
Питание	~230В, 150 мА со всеми вариантами расширения
Рабочая память	100Кбайт
Встроенный источник питания	=24 В, 400 мА
Энергонезависимая память	10Кбайт
Загружаемая память	4Мбайт
Коммуникационный интерфейс	PROFINET, 10/100 Мбит/с, 2х RJ45
Встроенные каналы ввода-вывода	14
дискретные входы:	10 (2x5 реле)
дискретные выходы:	2 (0-10 В)
аналоговые входы:	2 (0-20мА)
Расширение:	
SB/СВ/ВВ	1
СМ/СР	3
SM	8

Схема подключения модуля SM 1223 6ES7 223-1PH30-0XB0

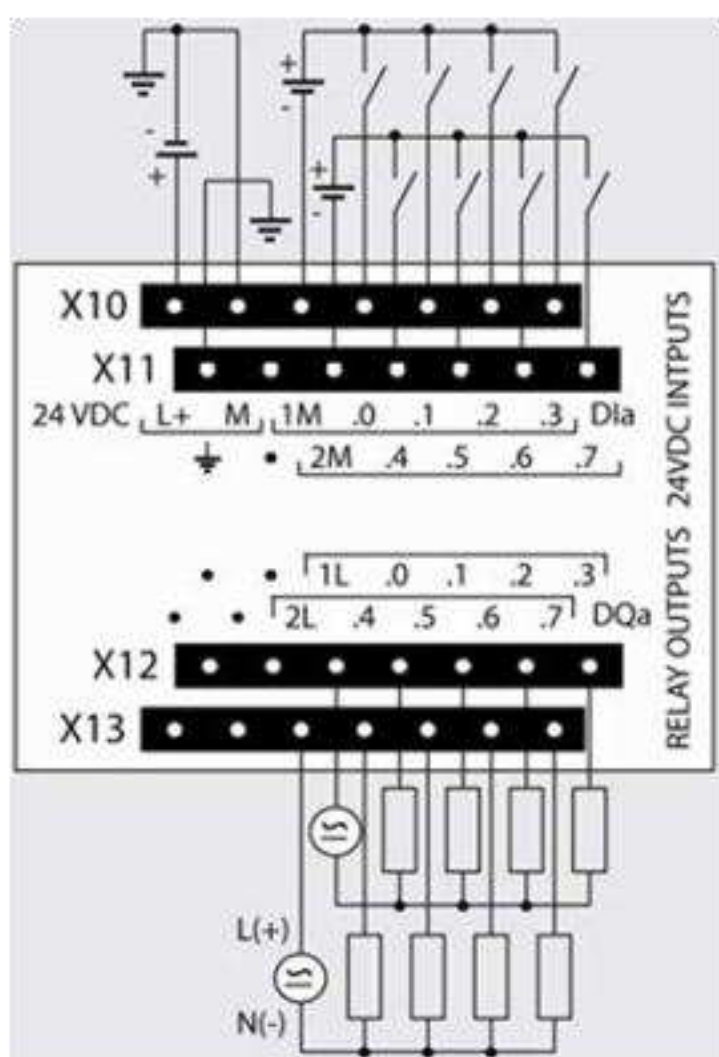
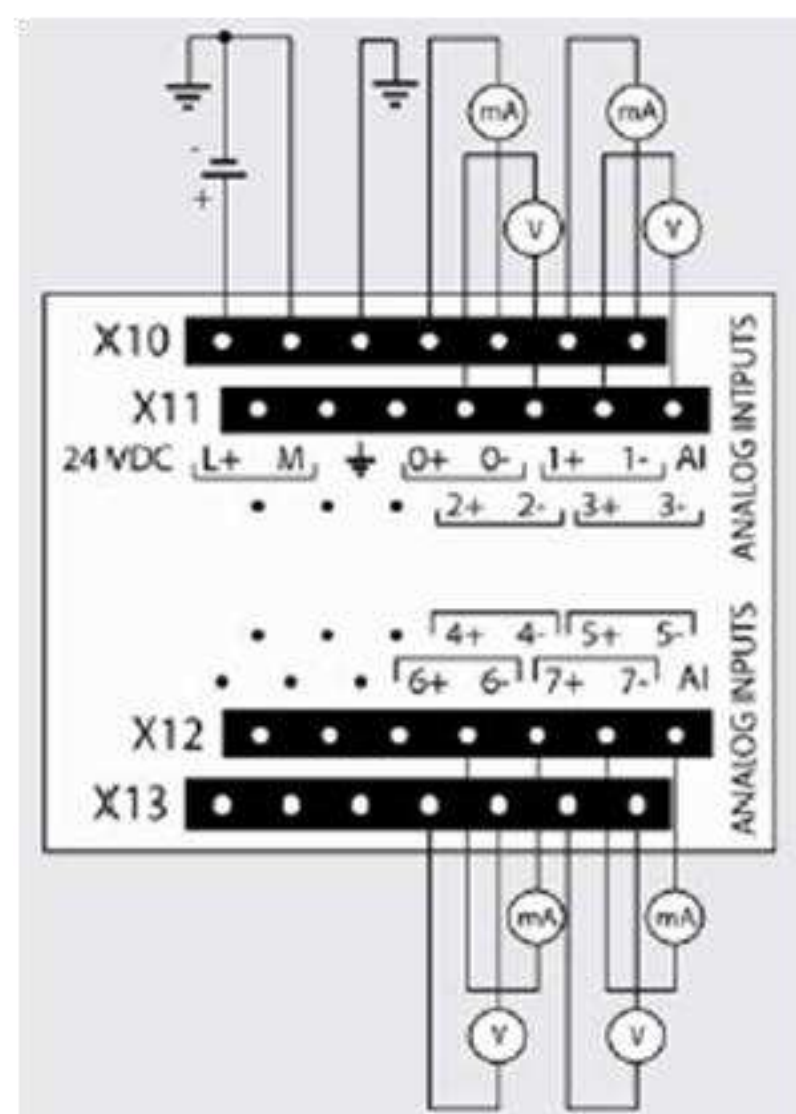


Схема подключения модуля SM 1231 6ES7 231-4HF30-0XB0



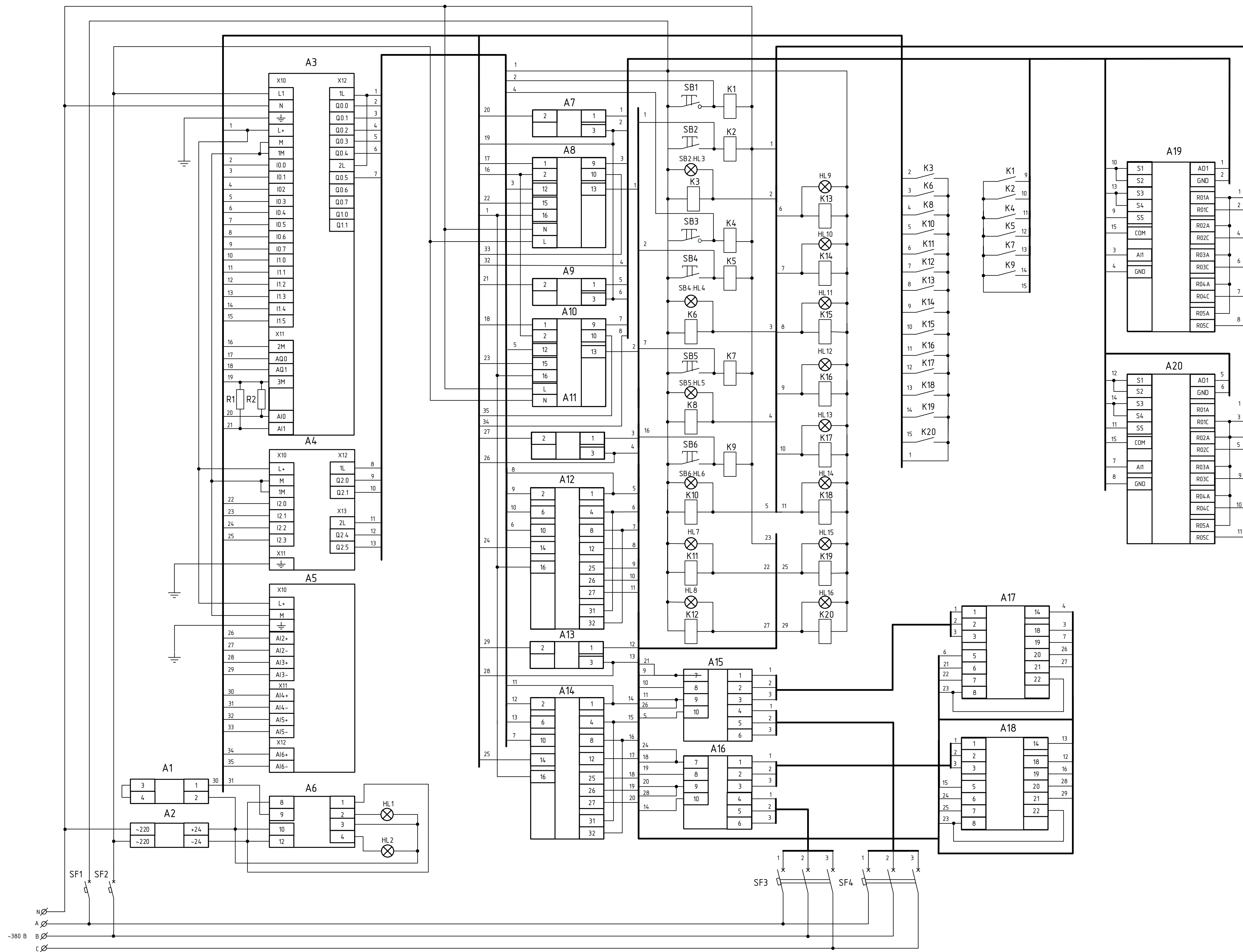
Основные технические характеристики SM 1223 6ES7 223-1PH30-0XB0

Параметр	Значение
Питание входных/выходных цепей	=24 В, 4 мА на входной канал, 11 мА на одну обмотку реле
Дискретные входы:	8 (2x4)
Дискретные выходы	10 (2x4 реле)

Основные технические характеристики SM 1231 6ES7 231-4HF30-0XB0

Параметр	Значение
Питание входных/выходных цепей	=24 В, 45мА
Аналоговые входы:	8 дифференциальных входов, 12 бит + знак. Настройка каждой пары каналов на измерение унифицированных сигналов напряжения или силы тока

ВКР.132204.15.03.04.СХ					Литера	Масса	Масшт
Изм	Лист	№ Докумен	Подп	Дата	Эскиз панели лицевой щита управления Контроллер программируемый логический. Схемы подключения и основные характеристики	Лист 4	Листов 6
Разраб	Павлов Д.А.						
Провер	Безрыков Н.С.						
Т.Контр	Безрыков Н.С.						
Н.Контр	Скрипко О.В.				Регулирование разряжения в топке котла Райчихинской ГРЭС	АМГЧ 341-эсб	
Умб	Остапенко А.А.						



Позиция	Наименование	Кол.	Примечание
SF1,SF2	Выключатель автоматический ВА47-29-1P 1A	2	
R1,R2	Резистор М0-25, 0.25 Вт, 510 Ом	2	
A1	Датчик давления-разрежения Сапфир-22М-ДИВ	1	
A2	Блок питания БП15Б-Д2-24	1	
A3	СРУ 1215С 6ES7 215-1BG31-0XB0	1	
A4	SM 1223 6ES7 223-1PH30-0XB0	1	
A5	SM 1231 6ES7 231-4HF30-0XB0	1	
A6	Измеритель цифровой одноканальный ИДЦ1	1	
HL1	Лампа сигнальная МТВ2-BV613, 24 В	1	Зеленая
HL2	Лампа сигнальная МТВ2-BV614, 24 В	1	Красная
A7,A9, A11,A13	Индикатор токовой петли ИТП 11	4	
A8,A10	Блок управления БРУ-7	2	
A12,A14	Блок управления БУ21	2	
SB1,SB3	Кнопка грибовидная тяни-толкай МТВ2-BTZ124	2	Красная
SB2,SB4, SB5,SB6	Кнопка с LED подсветкой, МТВ2-BW3363	4	Зеленая
K1-K20	Реле промежуточное RP 407 AL, 220 В	20	
A15,A16	Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР 3А	2	
HL7,HL9, HL12,HL15	Лампа сигнальная МТВ2-BV633, 220 В	4	Зеленая
HL10,HL13	Лампа сигнальная МТВ2-BV635, 220 В	2	Желтая
HL8,HL11, HL14,HL16	Лампа сигнальная МТВ2-BV634, 220 В	4	Красная
SF3,SF4	Выключатель автоматический ВА47-29-1P 5A	2	
A17,A18	МЭ0-250/63-0,63-99К	2	
A19,A20	Преобразователь Геркулес ПЧ-ТТПТР-48-6к	2	

БКР.132204.15.03.04.СХ

				Литер			Масса			Масштаб			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема принципиальная электрическая								
Разр.		Безрыков В.А.											
Пров.		Безрыков И.С.											
Т.контр.		Безрыков И.С.											
И.контр.		Скрипка О.В.			Регулирование разряжения в топке котла Райчихинской ГРЭС						Лист 5 / Листов 6		
Утв.		Васильева А.А.									АМГУ 341-зсб		

Перечень входных дискретных сигналов

Наименование	Пояснение
rch1_reg_mode	ПЧ 1 в регулирующем режиме
rch2_reg_mode	ПЧ 2 в регулирующем режиме
rch1_dir_mode	ПЧ 1 в прямом режиме
rch2_dir_mode	ПЧ 2 в прямом режиме
na1_closed	НА 1 закрыт
na1_opened	НА 1 открыт
rch1_normal	ПЧ 1 в режиме работа
rch1_alarm	ПЧ 1 в режиме неисправность
rch1_fail	ПЧ 1 в режиме авария
rch2_normal	ПЧ 2 в режиме работа
rch2_alarm	ПЧ 2 в режиме неисправность
rch2_fail	ПЧ 2 в режиме авария
na2_closed	НА 2 закрыт
na2_opened	НА 2 открыт
rch1_auto_mode	ПЧ 1 в автоматическом режиме
rch2_auto_mode	ПЧ 2 в автоматическом режиме
na1_auto_mode	НА 1 в автоматическом режиме
na2_auto_mode	НА 2 в автоматическом режиме

Перечень входных аналоговых сигналов

Наименование	Пояснение	Един. измер.	Пределы	Тип сигнала
rch1_freq	выходная частота ПЧ 1	%	0...100	(4-20)мА
rch2_freq	выходная частота ПЧ 2	%	0...100	(4-20)мА
na1_poz	положение НА 1	%	0...100	(4-20)мА
na2_poz	положение НА 2	%	0...100	(4-20)мА
upress	разрежение в топке, кПа	Па	-100...100	(4-20)мА
rch1_ref_freq_real	ПЧ 1 - заданная частота реальная (выход БРУ 7-1)	%	0...100	(4-20)мА
rch2_ref_freq_real	ПЧ 2 - заданная частота реальная (выход БРУ 7-2)	%	0...100	(4-20)мА

Перечень выходных дискретных сигналов

Наименование	Пояснение
rch1_do_stop	ПЧ 1 - стоп
rch1_do_reg_mode	ПЧ 1 - в регулирующий режим
rch2_do_stop	ПЧ 2 - стоп
rch2_do_reg_mode	ПЧ 2 - в регулирующий режим
rch1_do_dir_mode	ПЧ 1 - в прямой режим
rch2_do_dir_mode	ПЧ 2 - в прямой режим
na1_close	НА 1 - закрывать
na1_open	НА 1 - открывать
na2_close	НА 2 - закрывать
na2_open	НА 2 - открывать

Перечень выходных аналоговых сигналов

Наименование	Пояснение	Един. измер.	Пределы	Тип сигнала
rch1_ref_freq	ПЧ 1 - заданная частота от контроллера	%	0...100	(4-20)мА
rch2_ref_freq	ПЧ 2 - заданная частота от контроллера	%	0...100	(4-20)мА

Перечень входных дискретных сигналов, принимаемых по интерфейсу

Наименование	Пояснение
rch1_do_stop_from_scada	ПЧ 1 - стоп
rch1_do_reg_mode_from_scada	ПЧ 1 - в регулирующий режим
rch2_do_stop_from_scada	ПЧ 2 - стоп
rch2_do_reg_mode_from_scada	ПЧ 2 - в регулирующий режим
rch1_do_dir_mode_from_scada	ПЧ 1 - в прямой режим
rch2_do_dir_mode_from_scada	ПЧ 2 - в прямой режим
na1_close_from_scada	НА 1 - закрывать
na1_open_from_scada	НА 1 - открывать
na2_close_from_scada	НА 2 - закрывать
na2_open_from_scada	НА 2 - открывать
na1_do_auto_mode_from_scada	НА 1 - в автоматический режим
na2_do_auto_mode_from_scada	НА 2 - в автоматический режим
rch1_do_auto_mode_from_scada	ПЧ 1 - в автоматический режим
rch2_do_auto_mode_from_scada	ПЧ 2 - в автоматический режим
rch1_ref_freq_plus_from_scada	ПЧ 1 - увеличить заданную частоту
rch1_ref_freq_minus_from_scada	ПЧ 1 - уменьшить заданную частоту
rch2_ref_freq_plus_from_scada	ПЧ 2 - увеличить заданную частоту
rch2_ref_freq_minus_from_scada	ПЧ 2 - уменьшить заданную частоту

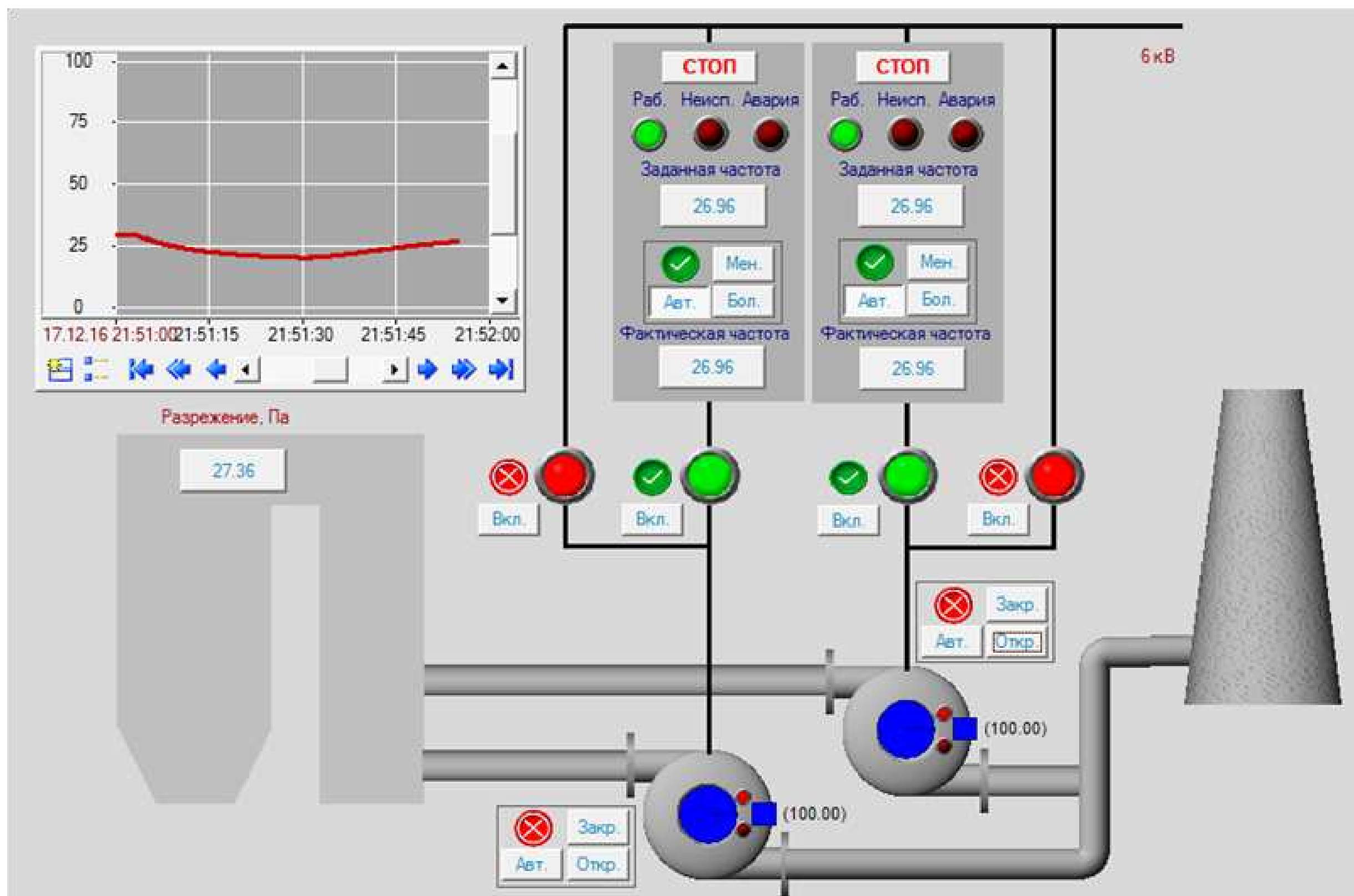
Перечень выходных дискретных сигналов, передаваемых по интерфейсу

Наименование	Пояснение
rch1_reg_mode_to_scada	ПЧ 1 в регулирующем режиме
rch2_reg_mode_to_scada	ПЧ 2 в регулирующем режиме
rch1_dir_mode_to_scada	ПЧ 1 в прямом режиме
rch2_dir_mode_to_scada	ПЧ 2 в прямом режиме
na1_closed_to_scada	НА 1 закрыт
na1_opened_to_scada	НА 1 открыт
rch1_normal_to_scada	ПЧ 1 в режиме работа
rch1_alarm_to_scada	ПЧ 1 в режиме неисправность
rch1_fail_to_scada	ПЧ 1 в режиме авария
rch2_normal_to_scada	ПЧ 2 в режиме работа
rch2_alarm_to_scada	ПЧ 2 в режиме неисправность
rch2_fail_to_scada	ПЧ 2 в режиме авария
na2_closed_to_scada	НА 2 закрыт
na2_opened_to_scada	НА 2 открыт
rch1_auto_mode_to_scada	ПЧ 1 в автоматическом режиме
rch2_auto_mode_to_scada	ПЧ 2 в автоматическом режиме
na1_auto_mode_to_scada	НА 1 в автоматическом режиме
na2_auto_mode_to_scada	НА 2 в автоматическом режиме

Перечень выходных аналоговых сигналов, передаваемых по интерфейсу

Наименование	Пояснение	Един. измер.	Пределы
rch1_freq_to_scada	Выходная частота ПЧ 1	%	0...100
rch2_freq_to_scada	Выходная частота ПЧ 2	%	0...100
na1_poz_to_scada	Положение НА 1	%	0...100
na2_poz_to_scada	Положение НА 2	%	0...100
upress_to_scada	Разрежение	Па	-100...100
rch1_ref_freq_to_scada	Заданная частота ПЧ 1	%	0...100
rch2_ref_freq_to_scada	Заданная частота ПЧ 2	%	0...100

Экран монитора реального времени



Экран имитации щита управления

