

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
высшего образования

**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет энергетический

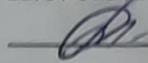
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

Направление подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов
и производств

Направленность (профиль) образовательной программы – Автоматизация тех-
нологических процессов и производств в энергетике

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой

 О.В. Скрипко

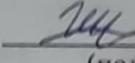
«26» июня 2025 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Автоматизированная система управления дожимным компрессором
воздушной компрессорной установки на Амурском ГПЗ

Исполнитель

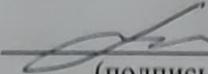
студент группы 141-об

 20.06.2025
(подпись, дата)

М.А.Черницын

Руководитель

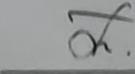
доцент, канд. техн. наук

 20.06.2025
(подпись, дата)

А.Н. Рыбалев

Консультант по безопасности
и экологичности

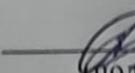
доцент, канд. техн. наук

 27.06.2025
(подпись, дата)

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль

профессор, д-р техн. наук

 25.06.2025
(подпись, дата)

О.В. Скрипко

Благовещенск 2025

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

Факультет энергетический

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой


Подпись

О.В. Скрипко
И.О. Фамилия

« 26 » июля 2025 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Черницына Максима Андреевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Автоматизированная система управления дожимным компрессором воздушной компрессорной установки на Амурском ГПЗ

(утверждена приказом от 29.04.25 № 1104-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы 26.06.2025.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе:

- 1) Рабочая и конструкторская документация Амурского ГПЗ;
- 2) Приказ об утверждении темы бакалаврской работы;
- 3) Материалы, собранные в ходе практики.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

- 1) Описание автоматизации;
- 2) Обзор технических средств автоматизации и управления;
- 3) Разработка программного прототипа автоматизированной системы управления;
- 4) Безопасность и экологичность.

5. Перечень материалов приложения:

Лист 1: Укрупненная технологическая схема Амурского ГПЗ.

Лист 2: Общая схема воздушной установки.

Лист 3: Функциональная схема.

Лист 4: Технические средства автоматизации.

Лист 5: Принципиальная электрическая схема.

Лист 6: Автоматизированная система управления.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе:

Безопасность и экологичность – Булгаков А.Б., доцент, канд. техн. наук

7. Дата выдачи задания 10.04.2025

Руководитель выпускной квалификационной работы Рыбалёв Андрей Николаевич, доцент кафедры АППиЭ, канд. техн. наук.

Задание принял к исполнению (дата): ~~10.04.2025~~ 10.09.2025

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 81 страниц, 44 рисунка, 19 таблиц, 34 источника, 6 приложений.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА, ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА, ПЛК, АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, АСУТП, КИП, ПОРШНЕВОЙ КОМПРЕССОР, АГПЗ, SIMULINK, TRACE MODE, CODESYS

В данной работе ставятся задачи по разработке системы управления для дожимного поршневого воздушного компрессора, имитационной модели компрессора, человеко-машинного интерфейса, а также программы управления для программируемого логического контроллера.

Целью бакалаврской работы является изучение технологических процессов воздушного дожимного компрессора, а также разработки имитационной модели установки и автоматизированной системы управления дожимным компрессором.

В работе рассмотрены технологические процессы дожимного компрессора и воздушной компрессорной установки в целом. Разработаны принципиальная электрическая схема и функциональная схема, а также представлен перечень средств автоматизации и управления, использованных при проектировании модели автоматизированной системы управления.

СОДЕРЖАНИЕ

Определения, обозначения, сокращения	7
Введение	8
1 Объект автоматизации	9
1.1 Амурский газоперерабатывающий завод	9
1.2 Воздушная компрессорная установка	10
1.2.1 Пусковой блок	10
1.2.2 Основные компрессора	10
1.2.3 Система выходного охладителя	11
1.2.4 Сепараторы конденсата	11
1.2.6 Охлаждающая система с антифризом	13
1.2.7 Узлы коммерческого учета	14
1.2.8 Ресиверы воздуха КИП	15
1.2.9 Ресиверы технического воздуха	15
1.3 Поршневой дожимной компрессор	15
1.3.1 Режимы работы дожимного компрессора	16
1.3.2 Блокировки и сигнализации	17
2 Функциональная схема	21
3 Средства автоматизации и управления	24
3.1 Средства измерения	24
3.1.2 Измерительный преобразователь давления	26
3.1.3 Измерительный преобразователь расхода	27
3.3 Программируемый логический контроллер	28
3.4 Частотно-регулируемый преобразователь	42
4 Принципиальная схема	44
4.1 Способы подключения аналогового сигнала	45
4.1.1 Аналоговый ввод	45
4.1.2 Аналоговый вывод	45
4.2 Способы подключения дискретного сигнала	46

4.2.1 Дискретный ввод	46
4.2.1 Дискретный вывод	47
5 Разработка автоматизированной системы управления	48
5.1 Имитационная модель объекта	48
5.2 Программа управления	51
5.3 Человеко-машинный интерфейс	56
6 Безопасность и экологичность	60
6.1 Безопасность	60
6.1.1 Технические условия для рабочей зоны оператора	60
6.1.2 Параметры воздушной среды рабочей зоны	62
6.1.3 Допустимые уровни шумового и вибрационного воздействия	63
6.1.4 Электробезопасность	63
6.1.5 Безопасность при работе с дожимным компрессором	64
6.2 Экологичность	65
6.3 Чрезвычайные ситуации	66
6.3.1 Чрезвычайные ситуации при эксплуатации компрессора	66
6.3.2 Пожарная безопасность	68
Заключение	70
Библиографический список	71
Приложение А Общая технологическая схема Амурского ГПЗ	76
Приложение Б Общая схема воздушной компрессорной установки	77
Приложение В Функциональная схема	78
Приложение Г Технические средства автоматизации	79
Приложение Д Принципиальная электрическая схема	80
Приложение Е Имитационная модель и АСУ дожимного компрессора	81

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

АСУ – автоматизированная система управления;

АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

БП – блок питания;

ВД – высокое давление;

ГПЗ – газоперерабатывающий завод;

КИП – контрольно-измерительные приборы;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

НД – низкое давление;

ПО – программное обеспечение;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина;

ЦП – центральный процессор;

ЧРП – частотный регулируемый преобразователь;

ЧМИ – человеко-машинный интерфейс.

ВВЕДЕНИЕ

Численность установок на Амурском газоперерабатывающем заводе больше трех десятков. В рамках данной выпускной квалификационной работы будет рассмотрен дожимной компрессор воздушной компрессорной установки. В работе будет подробно рассмотрено назначение этой установки, её расчётная производительность, а также состав системы получения воздуха КИП и технического воздуха высокого и низкого давления. Кроме того будут рассмотрены средства автоматизации и управления, спроектированы функциональная схема и принципиальная схема, разработана имитационная модель объекта управления, написана программ управления для ПЛК, спроектирован человеко-машинный интерфейс, рассмотрены аспекты безопасности, экологичности и действия при возникновении чрезвычайной ситуации.

Дожимной компрессор дожимает воздух до высокого давления, чтобы сформировать запас в ресивере. Запас будет использован, если произошёл останов компрессоров или имеется нехватка воздуха низкого давления. На Амурском ГПЗ нет потребителей воздуха высокого давления, поэтому давление воздуха от ресивера будет понижаться через редуцированный клапан до воздуха низкого давления.

Установки производства сжатого воздуха являются важнейшим звеном в обеспечении безопасности и бесперебойной работы промышленных предприятий. Эти системы выполняют критически важную функцию, выступая в качестве универсального энергоносителя для различных технологических процессов. Например, сжатый воздух используется в пневматических системах для пневмоприводов, функционирования контрольно-измерительных приборов и автоматики.

1 ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1 Амурский газоперерабатывающий завод

Амурский газоперерабатывающий завод является одним из крупнейших заводов по переработке газа в мире. На данный момент проект завода составляет шесть технологических линий, четыре из которых уже запущены и вырабатывают целевой продукт. Полная проектная мощность по переработке газа составляет 42 млрд кубических метров природного газа в год. Из сырьевого газа выделяют отдельные фракции, целевое производство Амурского ГПЗ – гелий, который по проекту будет вырабатываться примерно 2,4 миллиона тонн в год. Также, в процессе разделения фракций сырьевого газа формируются этановые (2,4 миллиона тонн в год), пропановые (1 миллиона тонн в год), бутановые (500 тысяч тонн в год) и пентан-гексановые (200 тысяч тонн в год) фракции. Площадь такого колоссального завода составляет 800 гектар [1].

На рисунке 1 представлена общая технологическая схема Амурского ГПЗ.

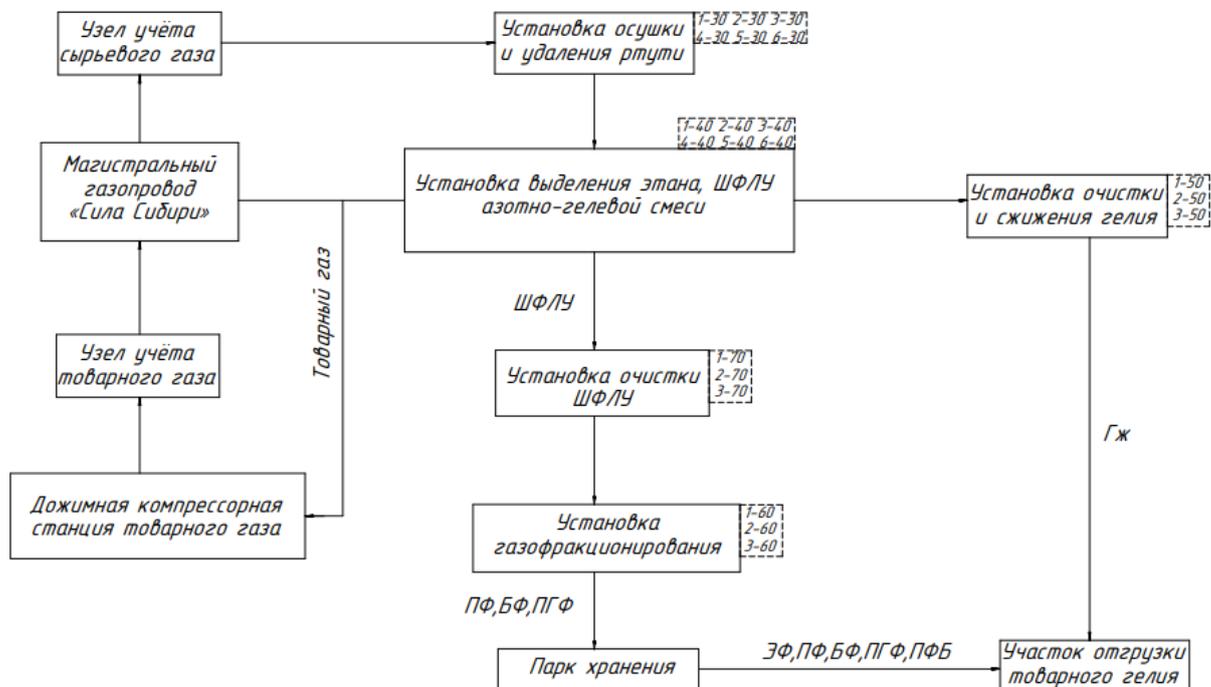


Рисунок 1 – Общая технологическая схема Амурского ГПЗ

1.2 Воздушная компрессорная установка

1.2.1 Пусковой блок

Пусковой компрессор используется для производства минимального количества воздуха КИПиА, необходимого для запуска установки производства воздуха.

Атмосферный воздух через фильтр поступает на первую ступень компрессора, где сжимается до давления не более 0,35 МПа, после поступает в охладитель первой ступени, где охлаждается и подается во влагоотделитель.

После влагоотделителя воздух подается на вторую ступень компрессора, где сжимается до давления не более 0,98 МПа подается в охладитель где охлаждается и поступает во влагоотделитель.

С нагнетания компрессора воздух, сжатый до 0,95 МПа, с расходом на выходе пускового блока $350 \text{ м}^3/\text{ч}$ через фильтр поступает в пусковой осушитель, где осушается до точки росы – 70°C .

Осушенный воздух после адсорберов проходит фильтры и подается в пусковой коллектор на заполнение установок осушки и заполнение ресивера воздуха КИП.

Сжатый воздух поступает в ресивер для обеспечения необходимого количества воздуха КИП для пуска установки производства воздуха.

1.2.2 Основные компрессора

Основными воздушными компрессорами являются 3 центробежных компрессора:

- 2 центробежных компрессора производительностью $11040 \text{ м}^3/\text{ч}$ при давлении 0,97 МПа и температуре на выходе 147°C ;

- 1 центробежный компрессор компании производительностью $6560 \text{ м}^3/\text{ч}$ при давлении 0,97 МПа и температуре на выходе 152°C .

Для обеспечения требуемого расхода воздуха $16100 \text{ м}^3/\text{ч}$ работают постоянно один компрессор производительностью $11040 \text{ м}^3/\text{ч}$ и один производительностью $6560 \text{ м}^3/\text{ч}$. Второй компрессор производительностью

11040 нм³/ч является резервным и включается автоматически, при остановке одного из первых двух компрессоров.

На выходе из первой ступени воздух, сжатый до 0,15 МПа с температурой 147 °С направляется в охладитель 1-й ступени, где охлаждается антифризом до температуры 57 °С и подается на всас 2-й ступени.

На выходе из второй ступени воздух, сжатый до 0,44 МПа с температурой 162 °С направляется в охладитель 2-й ступени, где охлаждается антифризом до температуры 57 °С и подается на всас 3-й ступени.

На выходе из третьей ступени воздух, сжатый до 0,965 МПа с температурой не более 156 °С направляется в выходной охладитель.

1.2.3 Система выходного охладителя

Сжатый воздух с третьей ступени основного воздушного компрессора подается в выходной охладитель.

Каждый основной воздушный компрессор оснащен одним модулем стандартного охладителя воздух/воздух, каждый модуль состоит из трех вентиляторов, установленных на общем основании.

Выходной охладитель предназначен для снижения температуры воздуха на выходе из компрессора, для обеспечения требуемой температуры воздуха на входе в установки осушки.

Охлажденный воздух из выходного охладителя с температурой 36 °С подается блок сепараторов.

Влага, сконденсировавшаяся при охлаждении воздуха в модулях выходных охладителей, отводится в производственную канализацию.

По показаниям датчика температуры на выходе в каждом модуле логикой определяется количество вентиляторов, необходимое для обеспечения 36 °С на выходе.

1.2.4 Сепараторы конденсата

Поток охлажденного воздуха после выходных охладителей подается в блок сепараторов. После каждого выходного охладителя установлен один сепаратор конденсата.

Сепаратор собирает и удаляет всю сконденсированную воду, формирующуюся внутри основного потока сжатого воздуха. Для отделения воздушного потока от сконденсированной воды, поток сначала направляется вниз ресивера, а затем вверх через каплеотбойник.

Каждый сепаратор конденсата оснащен реле уровня, которое контролирует количество жидкости в сосуде и открывает дренажный клапан, когда уровень достигает значения уставки.

1.2.5 Установка осушки

Воздух из сепараторов для освобождения от содержащейся в нем влаги общим потоком подается на установки осушки. В технологической схеме имеются три установки, две установки из трех находятся в работе и одна в режиме ожидания.

Все установки идентичны. Ниже приводится описание установки.

Установки осушки спроектированы на общую производительность установки $8730 \text{ м}^3/\text{ч}$ для каждой установки осушки.

Для обеспечения требуемой подачи воздуха необходима одновременная работа двух осушителей, третий осушитель используется в качестве резервного, если один из работающих по какой-либо причине перестает работать.

Работа осушителей воздуха основывается на принципе адсорбции с перепадом температуры. В то время, как один адсорбер с адсорбентом поглощает влагу из сжатого воздуха и подает осушенный воздух, адсорбер с насыщенным адсорбентом восстанавливается потоком горячего воздуха, направляемым воздуходувкой и нагреваемым электронагревателем.

В каждой колонне осушителя находится специальный влагопоглощающий материал (Силикагель в количестве 2870 кг), который поглощает влагу сжатого воздуха, поступающего из входного трубопровода.

Это пористый материал, используемый в качестве влагопоглотителя. При прохождении воздуха через силикагель, вода задерживается в порах. Молекулы воды застревают и, таким образом, воздух осушается при прохождении через фильтр. Процесс является обратимым: при понижении давления и нагревании

Силикагеля, молекулы воды высвобождаются. Этот процесс называется регенерацией влагопоглотителя. Каждый осушитель состоит из двух колонн-адсорберов.

Во время работы осушителя, одна колонна всегда поглощает влагу, в то время как вторая колонна работает в режиме регенерации (этот процесс осуществляется с использованием перепада температур, атмосферным воздухом повышенной температуры для удаления поглощенной влаги).

Осушенный воздух поступает в концевой фильтр. При проходе воздуха через патрон фильтра твердые частицы задерживаются фильтрующим материалом. Для сброса давления в фильтре на время технического обслуживания на дне установлен клапан с ручным приводом (нормально закрыт).

После фильтрации часть сухого воздуха отбирается из патрубка воздуха КИП для подвода воздуха КИП к приводным клапанам основных воздушных компрессоров, дожимных компрессоров и осушителей во время работы установки.

Осушенный воздух после фильтрации подается в общий коллектор, из которого направляется к следующим узлам:

- узел дожимных компрессоров;
- узел учета технического воздуха НД;
- узел учета воздуха КИП НД.

1.2.6 Охлаждающая система с антифризом

Охлаждающая система с антифризом предназначена для охлаждения сжатого воздуха в промежуточных охладителях центробежных компрессоров, а также в выходных охладителях дожимных компрессоров.

Рабочей средой системы охлаждения является охлаждающая жидкость, состоящая на 40% из воды и на 60% из этиленгликоля.

Охлаждающая жидкость насосами с температурой 55 °С., и давлением 0,38 МПа подается на воздушные охладители антифриза, где охлаждается до температуры 45 °С при 0,33 МПа. на выходе из охладителей.

Воздушный охладитель антифриза состоит из пяти стандартных модулей охладителей воздух-раствор антифриза, размеры которых определены необходимостью охлаждения трех воздушных компрессоров, работающих одновременно с 30% резервом производительности.

Каждый модуль состоит из трех вентиляторов и теплообменника. Во избежание снижения эффективности во время сильных снегопадов каждый модуль имеет опорную структуру и навес.

Конфигурация динамически изменяется на основании требуемой температуры на выходе из блока охладителей (45 °С).

После охлаждения в воздушных охладителях антифриз подается в коллектор потребителей.

После охлаждения рабочей среды потребителей антифриз с давлением от 0,05 МПа до 0,15 МПа подается в блок охлаждения антифриза.

1.2.7 Узлы коммерческого учета

Подача сжатого воздуха (ВД и НД) к каждой части завода постоянно контролируется индивидуальными узлами коммерческого учета.

В установку входят три различных узла коммерческого учета:

- 1 узел учета для воздуха КИП НД;
- 1 узел учета для технического воздуха НД;
- 1 узел учета для воздуха КИП и технического ВД.

Каждый узел учета является независимым со своим поточным компьютером и оснащен трубной обвязкой, стойкой КИП и соединительными коробками.

Функциями узлов учета являются:

- измерение текущей подачи воздуха, пересчитанной на нормальные условия с компенсацией давления и температуры;
- расчет общего расхода воздуха за заданный период;
- измерение давления датчиком давления;
- измерение температуры датчиком температуры;
- измерение расхода, датчиком расхода.

Технический воздух/воздух КИП ВД после узла учета направляется в ресиверы технического воздуха и ресиверы воздуха КИП.

1.2.8 Ресиверы воздуха КИП

Воздух с давлением 3,5 МПа поступает на заполнение ресиверов воздуха КИП.

Ресиверы воздуха КИП используются для обеспечения запаса воздуха в случае пикового потребления или неисправности установки получения воздуха.

Резервный ресивер воздуха КИП используется для запуска УРВ после полного останова.

На выходе из ресиверов воздух КИП через редуцирующий клапан поступает в коллектор воздуха КИП НД потребителю.

Трубопровод подачи воздуха КИП НД потребителю защищен от превышения давления с уставкой срабатывания 1,0 МПа и выбросом воздуха в атмосферу.

1.2.9 Ресиверы технического воздуха

Воздух с давлением 3,5 МПа поступает на заполнение ресиверов технического воздуха. Ресиверы технического воздуха используются для обеспечения запаса воздуха в случае пикового потребления или неисправности установки получения воздуха.

На выходе из ресиверов технический воздух через редуцирующий клапан поступает в коллектор технического воздуха потребителю.

Трубопровод подачи воздуха КИП НД потребителю защищен от превышения давления с уставкой срабатывания 1,0 МПа и выбросом воздуха в атмосферу.

1.3 Поршневой дожимной компрессор

Воздух в дожимной компрессор поступает из блока осушки под давлением 0,83 МПа. Компримирование воздуха осуществляется в поршневом компрессоре, где воздух компримируется до давления нагнетания 3,5 МПа. Один компрессор является рабочим, один резервным.

После сжатия в компрессоре воздух поступает в демпфер. Температура воздуха контролируется приборами с предупредительной сигнализацией при достижении высокого значения и блокировкой. При достижении предельно высокой температуры компрессор останавливается.

Давление в линии нагнетания перед холодильником контролируются приборами с предупредительной сигнализацией при достижении высокого значения и блокировкой. При достижении предельно высокого давления компрессор останавливается.

После этапа компримирования воздух охлаждается в холодильниках антифризом. Два дожимных воздушных компрессора ВД (1 рабочий + 1 резервный) спроектированы на производительность воздуха 2000 нм³/ч для работы с давлением на всасывании 0,83 МПа. и давлением подачи 3,5 МПа.

Дожимной воздушный компрессор ВД состоит из следующих основных узлов:

- компрессор (двухцилиндровый, одноступенчатый);
- сосуды под давлением, включая выходной охладитель и демпферы пульсаций давления всаса и нагнетания;
- электродвигатель (привод с клиновыми ремнями с ЧРП);
- система смазочного масла, включая основной маслонасос (приводной), электрический вспомогательный маслонасос, маслоохладитель, двойной фильтр и электрический нагреватель;
- охлаждающий контур с раствором воды и этиленгликоля (закрытый контур) для охлаждения цилиндров компрессора, воздуха и смазочного масла;
- КИП и клапаны;
- местная панель управления для управления компрессором и вспомогательной системой на местах.

1.3.1 Режимы работы дожимного компрессора

Компрессор запускается с деактивированными разгрузочными устройствами (электромагнитные клапаны обесточены, нет воздуха) и ЧРП на минимальной скорости в 10 Гц.

Через 30 секунд работы компрессора активируется контроль производительности.

При 50% загрузке разгрузочные устройства переключаются циклически:

- 1-й цикл – к одному электромагнитному клапану подводится ток, а другой электромагнитный клапан обесточен. Длительность цикла – 30 минут;
- 2-й цикл – первый электромагнитный клапан обесточен, а ко второму клапану подведен ток. Длительность цикла – 30 минут.

При необходимости повышения давления в коллекторе воздуха КИП ВД компрессор переключается на 100% нагрузки.

Разгрузочные устройства могут быть выбраны вручную с ЧМИ или ОСОДУ кнопками «увеличить» или «уменьшить» и вызвать следующее:

- работа компрессора на 100% расхода при подводе тока ко всем электромагнитным клапанам производительности;
- работа компрессора на 50% расхода. К электромагнитным клапанам производительности подводится ток попеременно каждые 30 минут;
- работа компрессора на 0% расхода, при обесточенных электромагнитных клапанах производительности.

В ручном режиме работы компрессор запускается и поддерживает 0% загрузки для электромагнитного клапана.

Данный режим поддерживается в течение пяти минут, после этого компрессор переходит в режим разгрузки.

1.3.2 Блокировки и сигнализации

При достижении давления в системе воздуха КИП ВД порога P_{AL} (низкое давление воздуха КИП ВД) компрессор переходит на режим работы с 50% расхода воздуха.

При достижении давления в системе воздуха КИП ВД порога P_{ALL} (давление воздуха КИП ВД ниже низкого) компрессор переходит на режим работы со 100% расхода воздуха.

При достижении давления в системе воздуха КИП ВД порога РАН (высокое давление воздуха КИП ВД) компрессор переходит на режим работы с 0% расхода воздуха.

Данный режим поддерживается в течение пяти минут, после этого компрессор переходит в режим разгрузки.

При обеих конфигурациях (50% и 100%), скорость ЧРП регулируется в зависимости от давления нагнетания компрессора.

При переводе компрессора в режим удаленного управления посредством местного переключателя и в автоматический режим программной кнопкой ЧМИ и ОСОДУ/SCADA, он нагружается автоматически, как описано выше.

При достижении аварийного оповещения давления системы воздуха КИП ВД 3,8 МПа и компрессор установлен на 0% нагрузки, после длительного периода разгрузки (установленного на 5 минут) он автоматически остановится.

При достижении нижней уставки аварийного оповещения давления системы воздуха КИП ВД 3,3 МПа, если компрессор остановлен, он будет запущен и загружен в соответствии с требуемым значением.

Данная автоматическая функция может быть отключена оператором переводом компрессора на местный режим управления со страницы экрана АСУ.

Компрессор оснащен замкнутой маслосистемой. Уровень в картере контролируется прибором с предупредительной сигнализацией при достижении минимального значения. Уровень дополнительно контролируется по месту. Температура в картере компрессора контролируется прибором с предупредительной сигнализацией при достижении низкого или высокого значения. Температура дополнительно контролируется по месту.

Масло в систему смазки подается из картера с помощью насосов. Основной насос расположен на валу компрессора, вспомогательный насос работает от электродвигателя. Давление масла контролируется с предаварийной сигнализацией при достижении низкого и предельно низкого значения и по

месту. При достижении предельно низкого давления масла компрессор картера останавливается.

Для защиты системы масла от превышения давления установлены регулировочные клапаны на линии нагнетания насоса со сбросом в картер.

Для подогрева смазочного масла в картере установлен электронагреватель, который включается автоматически, в случае понижения температуры масла ниже + 10 °С. Температура масла в картере контролируется прибором, от которого происходит включение или отключение электронагревателя. Электронагреватель оборудован средствами защиты от перегрева. При достижении предельно высокого значения параметра происходит выключение электронагревателя.

Масло после насосов направляется в маслоохладитель, где охлаждается в межтрубном пространстве антифризом в трубном пространстве. Регулирование температуры масла производится изменением расхода масла через байпасный трубопровод маслоохладителя посредством трехходового клапана.

После маслоохладителя масло поступает в фильтры, где очищается от посторонних примесей. Степень загрязнения фильтра определяется по перепаду давления между входом и выходом масла из фильтра. Перепад давления масла на фильтре контролируется прибором с предупредительной сигнализацией при высоком значении.

Температура масла после фильтров контролируется прибором с предаварийной сигнализацией при достижении низкого и высокого значения. Масло после фильтра подается в систему смазки компрессора.

Температура подшипников, вибрация компрессора, температура обмотки двигателя, вибрация двигателя компрессора контролируется приборами с предупредительной или предаварийной сигнализацией при высоком и предельно высоком значениях. При достижении предельно высокого значения срабатывает блокировка, при которой происходит останов компрессора.

Температура подачи антифриза к компрессору и температура антифриза от охлаждения цилиндров, температура антифриза от холодильников, температура антифриза от маслоохладителя контролируется по месту

Главная логика управляет последовательностью рабочих/в ожидании. Рабочий компрессор используется для обеспечения нормального потребления воздуха из ресивера, в случае отказа рабочего компрессора, автоматически запустится компрессор в режиме ожидания. Ручной выбор последовательности производится посредством ОСОДУ и программной кнопки «Подтвердить переход на местный выбор» на дисплее. В случае отключения рабочего компрессора последовательность автоматически изменяется и отключенный компрессор переводится на последнюю позицию и заменяется компрессором в ожидании, который запустится и будет загружаться соответственно состоянию установки. Процедура переключения на компрессор в ожидании осуществляется главной логикой управления. Логика активируется только, если компрессор в ожидании доступен. Компрессор доступен, если: 1. Переключатель местный/удаленный компрессора находится в положении «удаленный»; 2. Компрессор находится в автоматическом режиме 3. Компрессор в рабочем состоянии (без отключений); 4. выбран режим автозагрузки для компрессора 5. Компрессор находится в состоянии готовности к пуску. Главный контроллер автоматически инициирует переключение на компрессор в ожидании/ после получения статуса отключения от рабочего компрессора.

2 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

Функциональная схема автоматизации представляет собой документ, который наглядно отображает структуру управления технологическим процессом, взаимосвязи между элементами системы и последовательность выполнения операций. Её основное назначение – дать полное представление о работе автоматизированного объекта, не привязываясь к физическому расположению оборудования.

При разработке функциональной схемы решаются несколько важных задач, включая описание технологических процессов и их автоматизацию, определение состава технических средств управления, контроля и сигнализации, а также отображение взаимодействия между устройствами и системами. Этот документ служит основой для создания других проектных материалов, таких как принципиальные схемы, спецификации оборудования и программные алгоритмы управления.

Функциональная схема строится с использованием стандартных графических обозначений, регламентированных ГОСТ или международными нормами (IEC), что обеспечивает единообразие и понятность для всех специалистов, работающих с проектом. При её составлении применяются те же правила, что и для принципиальных схем, что упрощает чтение и интерпретацию.

Также важно чётко определить точки контроля и управления, зафиксировав такие параметры, как давление, температура, уровень и другие, а также способы их регулирования. Особое внимание уделяется интеграции подсистем – согласованию работы локальных контуров управления с централизованной диспетчерской системой, что определяется структурной схемой автоматизации.

Корректно составленная функциональная схема минимизирует ошибки на этапах монтажа, наладки и эксплуатации автоматизированных систем. Она не только отражает текущую конфигурацию объекта, но и служит руководством для дальнейшей модернизации.

В таблице 1 представлены графические обозначения элементов автоматизации.

Таблица 1 – Графическое обозначение элементов автоматизации

	Наименование	Графическое обозначение
1	Первичный измерительный преобразователь(датчик); прибор, установленный по месту	
2	Прибор, устанавливаемый на щите, пульте	
3	Регулирующий орган	
4	Исполнительный механизм. Общее обозначение	
5	Общее обозначение линии связи.	
6	Пересечение линии связи с соединителем и без него.	

Была составлена функциональная схема дожимного компрессора воздушной компрессорной установки. На трубопроводе коллектора со стороны всаса установлено два датчика давления и один датчик расхода. Также датчики расхода установлены перед левым и правым цилиндром, а также после данных цилиндров. Также контролируется расход, температура и давление на выходе из коллектора стороны подачи.

На рисунке 2 изображена функциональная схема дожимного компрессора.

3 СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

3.1 Средства измерения

3.1.1 Измерительный преобразователь температуры

Термопреобразователь сопротивления ТОРР-1 представляет собой первичный преобразователь температуры, действие которого основано на изменении электрического сопротивления платинового чувствительного элемента в зависимости от температуры измеряемой среды. Прибор предназначен для работы в системах автоматического контроля и регулирования технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Конструктивно термопреобразователь состоит из чувствительного элемента в защитном корпусе, соединенного с клеммной головкой. В качестве чувствительного элемента используется платина (Pt100), обеспечивающая высокую точность измерений. Использование платинового чувствительного элемента Pt100 обеспечивает высокую точность измерений. Пассивный выходной сигнал в виде изменения сопротивления не требует дополнительного питания.

На рисунке 3 изображен термопреобразователь ТОРР-1, а в таблице 2 указаны его технические характеристики [2].



Рисунок 3 – Термопреобразователь сопротивления ТОРР-1

Таблица 2 – Технические характеристики TOPP-1

Параметр	Технические характеристики
Тип чувствительного элемента	Pt1000
Диапазон измеряемых температур	От -200 °С до +600 °С
Температура окружающей среды	От -40 °С до +100 °С
Рабочее давление	До 10 МПа
Степень защиты	IP54
Допустимое отклонение	Класс АF: $\pm(0,1+0,0017 t)$ °С
Выходной сигнал	4...20 мА

Преобразователь температуры LIMATHERM FLEX TOP представляет собой компактное устройство для преобразования сигналов термопар и термосопротивлений в стандартизированный токовый выходной сигнал. Модельный ряд 2231 предназначен для промышленного применения в системах автоматизации и контроля технологических процессов.

Прибор выполнен в прочном металлическом корпусе с защитой от внешних воздействий. Входные цепи гальванически развязаны от выходных, что обеспечивает безопасность эксплуатации. Устройство поддерживает подключение различных типов термопар и термопреобразователей сопротивления.

На рисунке 4 изображен Преобразователь температуры, а в таблице 3 его технические характеристики [4].



Рисунок 4 – Преобразователь температуры LIMATHERM FLEX TOP 2231

Таблица 3 – Технические характеристики LIMATHERM FLEX TOP 2231

Параметр	Технические характеристики
Входной сигнал	Термопары типов J,K,T,E,N,S,R,B; RTD Pt100, Pt1000
Температура окружающей среды	От -40 °С до +85 °С
Напряжение питания	20-30 В, DC
Степень защиты	IP20
Точность преобразования	±0,1% от диапазона
Выходной сигнал	4...20 мА, HART

3.1.2 Измерительный преобразователь давления

Датчик давления МРМ486 является современным измерительным преобразователем промышленного назначения, который выполняет точное преобразование величины давления в стандартизированный электрический сигнал. Устройство представляет собой моноблочную конструкцию с сенсорным элементом на основе кремниевой тензометрической технологии, заключенную в прочный корпус из нержавеющей стали.

Модель МРМ486 оснащена микропроцессорной системой обработки сигналов с цифровой температурной компенсацией, что обеспечивает высокую стабильность измерений в широком диапазоне рабочих температур. Встроенные схемы защиты от переплюсовки питания и импульсных помех повышают надежность работы в промышленных условиях. На рисунке 5 изображен датчик давления МРМ486 а в таблице 4 приведены его характеристики [3].

Таблица 4 – Технические характеристики МРМ486

Параметр	Технические характеристики
1	2
Диапазон измерений	До 100 МПа
Температура процесса	От -200 °С до +125 °С
Температура окружающей среды	От -40 °С до +85 °С

1	2
Напряжение питания	12-36 В, DC
Степень защиты	IP67
Класс точности	0,075% от диапазона
Выходной сигнал	4...20 мА, HART



Рисунок 5 – Датчик давления MPM486

3.1.3 Измерительный преобразователь расхода

Термомассовый расходомер ИЗМЕРКОН ТМ 470 – это высокоточный прибор для измерения массового расхода газов и жидкостей, работающий на принципе термоанемометрии. Он применяется в промышленности для контроля технологических процессов, учета энергоресурсов и автоматизации производственных линий.

Прибор измеряет теплоотвод от нагреваемого датчика, который зависит от скорости потока и теплоемкости среды. Это позволяет определять массовый расход напрямую, без дополнительных пересчетов.

На рисунке 6 изображен термомассовый расходомер, а в таблице 5 представлены его характеристики.



Рисунок 6 – Термомассовый расходомер ИЗМЕРКОН ТМ 470

Таблица 5 – Технические характеристики ИЗМЕРКОН ТМ 470

Параметр	Технические характеристики
Рабочее давление	4 МПа
Температура процесса	От -40 °С до +220 °С
Температура окружающей среды	От -20 °С до +70 °С
Напряжение питания	24 В, DC
Степень защиты	IP65
Класс точности	1% от диапазона
Выходной сигнал	4...20 мА, HART

3.3 Программируемый логический контроллер

Программируемый логический контроллер SIMATIC S7-400 представляет собой высокопроизводительную систему автоматизации промышленного назначения, разработанную для управления сложными технологическими процессами. Контроллер обладает модульной архитектурой, позволяющей создавать масштабируемые решения под конкретные задачи автоматизации

Модульная конструкция с возможностью установки до 21 модуля расширения в одной стойке. Поддерживает горячую замену модулей без остановки производственного процесса. Имеет встроенные интерфейсы для промышлен-

ных сетей PROFIBUS DP и PROFINET IO. Есть возможность реализации полностью резервированных систем с дублированием процессоров и блоков питания. Обладает расширенными функциями диагностики и самоконтроля оборудования.

На рисунке 7 изображен ПЛК Siemens Simatic серии S7-400, а в таблице 6 указаны его технические характеристики [5].

Таблица 6 – Технические характеристики ПЛК Siemens Simatic серии S7-400

Параметр	Технические характеристики
Объем оперативной памяти	16 МБ
Время обработки команд	От 0,08 мс на 1000 инструкций
Температура окружающей среды	От 0 °С до 65 °С
Напряжение питания	24 В (±15%), DC
Степень защиты	IP20
Поддерживаемые протоколы связи	PROFIBUS DP, PROFINET IO, Industrial Ethernet



Рисунок 7 – ПЛК Siemens Simatic серии S7-400

3.3.1 Модуль центрального процессора

Центральный процессор Siemens SIMATIC S7-400 6ES7410-5HX08-0AB0 представляет собой высоконадежный компонент системы автоматизации, предназначенный для построения отказоустойчивых промышленных решений. Мо-

дель относится к серии горячезервируемых контроллеров, обеспечивающих бесперебойную работу критически важных технологических процессов.

Реализует принцип горячего резервирования с автоматическим переключением между основной и резервной системами. Оснащен мощным процессором для выполнения сложных алгоритмов управления. Поддерживает синхронизацию между дублированными процессорами в реальном времени. Обеспечивает автоматическое восстановление после сбоев без остановки процесса.

На рисунке 8 изображен центральный процессор Siemens Simatic S7-400 6ES7410-5HX08-0AB0, а в таблицы 7 приведены его характеристики [6].



Рисунок 8 – Центральный процессор Simatic S7-400 6ES7410-5HX08-0AB0

Таблица 7 – Технические характеристики ЦП Siemens Simatic S7-400 6ES7410-5HX08-0AB0

Параметр	Технические характеристики
1	2
Тип процессора	CPU 410-5H
Объем рабочей памяти	1,5 МБ
Время выполнения операций	10 нс для бинарных операций
Количество поддерживаемых модулей	До 21 модуля расширения
Потребляемая мощность	3,5 А при 5 В DC

1	2
Напряжение питания	24 В DC
Рабочая температура	От 0 °С до 65 °С
Степень защиты	IP20

3.3.2 Модуль блока питания

Регулируемый блок питания Siemens 6AG1407-0KA02-7AA0 представляет собой компактный источник питания промышленного класса, предназначенный для обеспечения стабильным напряжением оборудования систем автоматизации. Устройство разработано специально для работы с компонентами линейки SIMATIC и отличается высокой надежностью в промышленных условиях эксплуатации.

Корпус устройства выполнен из прочного пластика с металлическими элементами для монтажа на стандартную DIN-рейку. Встроенные схемы защиты обеспечивают безопасную работу при перегрузках и коротких замыканиях. Регулировка выходного напряжения позволяет точно настроить параметры питания под конкретное оборудование. Светодиодные индикаторы отображают статус работы и наличие выходного напряжения.

На рисунке 9 изображен блок питания Siemens 6AG1407-0KA02-7AA0, а в таблице 8 приведены его характеристики [7].



Рисунок 9 – Блок питания Siemens 6AG1407-0KA02-7AA0

Таблица 8 – Технические характеристики БП Siemens 6AG1407-0КА02-7АА0

Параметр	Технические характеристики
Диапазон входного напряжения	100-240 В AC (47-63 Гц)
КПД	89% (при номинальной нагрузке)
Выходное напряжение	24 В DC (регулируемое 22-28 В)
Максимальный выходной ток	10 А
Рабочая температура	От 0 °C до 65 °C
Степень защиты	IP20

3.3.3 Модуль аналогового ввода

Модуль 6ES7331-7TF01-0AB0 представляет собой компонент системы автоматизации SIMATIC S7-400, предназначенный для преобразования аналоговых сигналов в цифровые значения. Устройство обеспечивает высокоточное измерение параметров технологических процессов в промышленных условиях.

Имеет гальваническую развязку между каналами измерения. Встроенные схемы фильтрации и защиты от помех обеспечивают безопасную работу. Также имеется возможность горячей замены в работающей системе.

На рисунке 10 изображен модуль аналогового ввода 6ES7331-7TF01-0AB0, а в таблице 9 приведены его характеристики [8].



Рисунок 10 – Модуль аналогового ввода 6ES7331-7TF01-0AB0

Таблица 9 – Технические характеристики модуля аналогового ввода
6ES7331-7TF01-0AB0

Параметр	Технические характеристики
Количество каналов	8
Разрешение	16 бит
Точность измерения	$\pm 0,1\%$ от диапазона
Напряжение питания	24 В DC
Тип входных сигналов	0 мА – 20 мА, 4 мА – 20 мА
Время преобразования	1 мс на канал
Рабочая температура	От 0 °C до 65 °C
Степень защиты	IP20

3.3.4 Модуль аналогового вывода

Модуль 6ES7332-8TF01-0AB0 представляет собой 8-канальный аналоговый выходной модуль для контроллеров SIMATIC S7-400. Устройство преобразует цифровые сигналы от процессора в аналоговые сигналы управления для исполнительных механизмов.

Имеет 8 гальванически изолированных выходных каналов. Поддерживает различные типы выходных сигналов. Обладает высокой точностью и стабильностью выходных параметров. Обладает встроенной диагностикой и индикацией состояния. Поддерживает горячую замену в работающей системе.

На рисунке 11 изображен модуль аналогового вывода Siemens 6ES7332-8TF01-0AB0, а в таблице 10 приведены его характеристик [9].

Таблица 10 – Технические характеристики модуля аналогового вывода
6ES7331-8TF01-0AB0

Параметр	Технические характеристики
1	2
Количество каналов	8
Разрешение	16 бит

1	2
Точность измерения	$\pm 0,1\%$ от диапазона
Напряжение питания	24 В DC
Тип входных сигналов	0 мА – 20 мА, 4 мА – 20 мА
Время преобразования	1 мс на канал
Рабочая температура	От 0 °С до 65 °С
Степень защиты	IP20



Рисунок 11 – Модуль аналогового вывода Siemens 6ES7332-8TF01-0AB0

3.3.5 Модуль дискретного ввода

Данный модуль представляет собой 16-канальное устройство дискретного ввода для контроллеров SIMATIC S7-400. Предназначен для подключения дискретных датчиков и сигналов с технологического оборудования.

Имеет 16 цифровых входов с индикацией состояния. И также обладает возможностью горячей замены.

На рисунке 12 изображен модуль дискретного ввода Siemens 6ES7321-7BH01-0AB0, а в таблице 11 приведены его характеристики [10].



Рисунок 12 – Модуль дискретного ввода Siemens 6ES7321-7BH01-0AB0

Таблица 11 – Технические характеристики модуля дискретного ввода Siemens 6ES7321-7BH01-0AB0

Параметр	Технические характеристики
Количество входов	16
Диапазон напряжения	20,4 В – 28,8 В DC
Напряжение питания	24 В DC
Потребляемый ток	1 мА на канал
Время фильтрации	0,1/0,5/3/15 мс (программируется)
Рабочая температура	От 0 °С до 65 °С
Степень защиты	IP20

3.3.6 Модуль дискретного вывода

Модуль 6ES7322-8BH10-0AB0 представляет собой 16-канальное устройство дискретного вывода для контроллеров SIMATIC S7-400, предназначенное для управления исполнительными механизмами в промышленных системах автоматизации.

Конструкция модуля включает 16 транзисторных выходов с защитой от короткого замыкания и возможностью индивидуальной диагностики каждого

выхода. Устройство обеспечивает групповую гальваническую развязку по 8 каналов в группе и оснащено встроенной защитой от перегрузки и перегрева. Каждый выход имеет светодиодную индикацию состояния, а компактный корпус с фронтальным разъемом позволяет легко интегрировать модуль в существующую систему.

На рисунке 13 изображен модуль дискретного вывода Siemens 6ES7322-8BH10-0AB0, а в таблице 12 приведены его технические характеристики [11].



Рисунок 13 – Модуль дискретного вывода Siemens 6ES7322-8BH10-0AB0

Таблица 12 – Технические характеристики модуля дискретного ввода Siemens 6ES7322-8BH10-0AB0

Параметр	Технические характеристики
Количество выходов	16
Диапазон напряжения	20,4 В – 28,8 В DC
Напряжение питания	24 В DC
Максимальный ток	0,5 А на канал
Время переключения	≤ 100 мкс
Рабочая температура	От 0°C до 65°C
Степень защиты	IP20

3.3.7 Интерфейсный модуль

Интерфейсный модуль 6ES7153-2BA10-0XB0 представляет собой компонент распределенной периферии SIMATIC S7-400, выполняющий функции связи между процессором и модулями ввода-вывода. Устройство обеспечивает высокоскоростной обмен данными в системах промышленной автоматизации.

Модуль выполнен в компактном корпусе для монтажа на DIN-рейку с механизмом быстрого крепления. Конструкция предусматривает фронтальное подключение кабеля PROFIBUS через 9-контактный разъем Sub-D. Устройство оснащено светодиодной индикацией состояния связи и питания, а также встроенными схемами защиты от перегрузок и электрических помех.

На рисунке 14 изображен интерфейсный модуль Siemens 6ES7153-2BA10-0XB0, а в таблице 13 приведены его характеристики [12].



Рисунок 14– Интерфейсный модуль Siemens 6ES7153-2BA10-0XB0

Таблица 13 – Технические характеристики интерфейсного модуля Siemens 6ES7153-2BA10-0XB0

Параметр	Технические характеристики
1	2
Тип интерфейса	PROFIBUS DP, RS-485
Скорость передачи	До 12 Мбит/с

1	2
Напряжение питания	24 В DC
Диапазон напряжения	20,4 В – 28,8 В DC
Максимальный ток	650 мА при 24В DC
Рабочая температура	От 0 °С до 65 °С
Степень защиты	IP20

3.3.8 Барьер искрозащиты

Барьер искрозащиты D5011S обеспечивает безопасную передачу аналогового сигнала между оборудованием, установленным во взрывоопасной и безопасной зоне. Установлен на стороне аналогового ввода.

Устройство выполнено в компактном корпусе из прочного пластика с клеммными соединениями винтового типа. Конструкция предусматривает надежную гальваническую развязку и ограничение энергии, что предотвращает возможность возникновения искры во взрывоопасной зоне. Корпус обеспечивает удобный монтаж на DIN-рейку стандартного размера.

На рисунке 15 предоставлено изображение барьера, а в таблице 14 приведены технические характеристики барьера G.M. International D5011S [13].

Таблица 14 – Технические характеристики G.M. International D5011S

Параметр	Технические характеристики
Погрешность передачи данных	<0,01% от верхнего предела
Время реакции	5 мс
Напряжение питания	24 В DC
Диапазон напряжения	18 В – 30 В DC
Вход	4 мА – 20 мА
Выход	4 мА – 20 мА
Рабочая температура	От 0 °С до 65 °С
Степень защиты	IP20



Рисунок 15 – Барьер искрозащиты G.M. International D5011S

Барьер искрозащиты D5020S представляет собой прибор обеспечивающий гальваническую развязку и ограничивает энергию в соответствии с требованиями для зон с потенциально взрывоопасной атмосферой. Данный барьер установлен на линии аналогового вывода.

Корпус барьера выполнен из прочного пластика с защитой IP20. Устройство оснащено винтовыми клеммами для надежного подключения проводов. Конструкция предусматривает простой монтаж на стандартную DIN-рейку 35 мм. Встроенные защитные элементы гарантируют безопасную эксплуатацию в жестких промышленных условиях.

В таблице 15 приведены технические характеристики барьера G.M. International D5020S [14].

Таблица 15 – Технические характеристики G.M. International D5020S

Параметр	Технические характеристики
Погрешность передачи данных	0,1%
Время реакции	25 мс
Напряжение питания	24 В DC
Диапазон напряжения	18 В – 30 В DC
Вход	4 мА – 20 мА
Выход	4 мА – 20 мА
Рабочая температура	От 0 °С до 65 °С
Степень защиты	IP20

Барьер D5034S представляет собой специализированное защитное устройство, предназначенное для безопасной передачи дискретных сигналов во взрывоопасных зонах. Он выполняет функцию гальванической развязки и ограничения электрической энергии, предотвращая возможность воспламенения опасной атмосферы. Данный барьер используется в цепи дискретного ввода.

В таблице 16 приведены технические характеристики G.M. International D5034S [15].

Таблица 16 – Технические характеристики G.M. International D5034S

Параметр	Технические характеристики
Погрешность передачи данных	0,25%
Потребляемый ток	15 мА
Напряжение питания	24 В DC
Диапазон напряжения	18 В – 30 В DC
Вход	0,1 мА – 8 мА
Выход	0,1 мА – 8 мА
Рабочая температура	От 0 °С до 65 °С
Степень защиты	IP20

Барьер D5096S представляет собой многоканальное искробезопасное устройство, специально разработанное для защиты цепей дискретного вывода в системах промышленной автоматизации, работающих во взрывоопасных средах. В таблице 17 представлены технические характеристик G.M. International D5096S [16].

Таблица 17 – Технические характеристики G.M. International D5096S

Параметр	Технические характеристики
1	2
Погрешность передачи данных	0,1%
Время реакции	25 мс
Напряжение питания	24 В DC

1	2
Диапазон напряжения	18 В – 30 В DC
Вход	4 мА – 20 мА
Выход	4 мА – 20 мА
Рабочая температура	От 0 °С до 65 °С
Степень защиты	IP20

3.3.9 Терминальный модуль

Модуль 6ES7650-1АН62-5ХХ0 относится к системе управления SIMATIC S7 400 и является частью распределенной периферии. Он предназначен для интеграции в промышленные системы автоматизации, обеспечивая высокую надежность и производительность в критически важных процессах. Данный терминальный модуль используется для ввода аналоговых сигналов.

На рисунке 16 изображен Терминальный модуль Siemens 6ES7650-1АН62-5ХХ0, а в таблице 18 приведены его технические характеристики [17].



Рисунок 16 – Терминальный модуль Siemens 6ES7650-1АН62-5ХХ0

Таблица 18 – Технические характеристики Siemens 6ES7650-1АН62-5ХХ0

Параметр	Технические характеристики
1	2
Напряжение питания	24 В DC
Диапазон измерений	0 мА – 20 мА, 4 мА – 20 мА

1	2
Аналоговые входы	6
Рабочая температура	От 0 °С до 65 °С
Степень защиты	IP20

Для вывода аналоговых сигналов используется Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AB61-2XX0. Модуль имеет 8 каналов вывода [18].

Для ввода дискретных сигналов используется Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AC11-3XX0. Модуль имеет 16 каналов ввода [19].

Для вывода дискретных сигналов используется Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AD11-2XX0. Модуль имеет 16 каналов вывода [20].

3.4 Частотно-регулируемый преобразователь

Преобразователь частоты AD800P-4T200-PU0PCU0P представляет собой высокотехнологичное устройство управления электроприводом, разработанное для точного регулирования скорости и момента асинхронных и синхронных электродвигателей. Этот преобразователь относится к классу промышленных частотных преобразователей средней мощности и предназначен для работы в составе сложных систем автоматизации технологических процессов.

На рисунке 17 изображен преобразователь частоты AD800P-4T200-PU0PCU0P, а в таблице 19 приведены его характеристики [21].

Таблица 19 – Технические характеристики Siemens 6ES7650-1AN62-5XX0

Параметр	Технические характеристики
1	2
Мощность	200 кВт
Род тока	АС
Напряжение питания,	380 В
Количество фаз напряжения питания	3 шт.
Входное напряжение	380-400 В

1	2
Выходное напряжение	380-400 В
Выходная частота	0-590 Гц
Степень защиты	IP20
Рабочая температура	От -10 °С до 50 °С



Рисунок 17 – Преобразователь частоты AD800P-4T200-PU0PCU0P

4 ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА

Принципиальная электрическая схема – это графическое изображение, на котором показаны все основные элементы автоматизированной системы и связи между ними. Она отражает принцип работы системы, не учитывая точное расположение приборов на установке.

На схеме обозначаются условные графические компоненты. Их соединение между собой отображается линиями, которые соответствуют электрическим связям. Такое представление позволяет понять, как протекают токи в цепи, как взаимодействуют элементы и как функционирует устройство в целом.

Принципиальные схемы должны соответствовать ряду ключевых требований, обеспечивающих их эффективное и безопасное использование:

- Надежность. Схема должна стабильно выполнять свои функции в установленных режимах и условиях эксплуатации.;

- Безопасность. Конструкция схемы должна исключать риски для обслуживающего персонала;

- Удобство. Схема должна быть максимально простой и понятной, чтобы минимизировать усилия и внимание персонала при работе с ней.

Соблюдение этих требований позволяет создавать эффективные, долговечные и безопасные электрические схемы, пригодные для практического применения. Принципиальные схемы используются при проектировании, ремонте и анализе автоматизированных систем управления. Они помогают инженерам и техникам разбираться в работе сложных устройств, находить неисправности и вносить изменения в конструкцию. Без них было бы крайне сложно разрабатывать современные системы управления, поскольку они служат универсальным языком для специалистов в этой области.

Далее будут представлены типовые подключения дискретных и аналоговых сигналов. Все аналоговые и дискретные сигналы подключаются однотипно. К аналоговым сигналам относятся: датчики температуры, датчики давления,

датчики расхода, управляющий сигнал ЧРП. К дискретным сигналам относятся кнопки, лампы.

4.1 Способы подключения аналогового сигнала

4.1.1 Аналоговый ввод

Два провода (белый и чёрный) проведены к шкафу управления. С клеммников пара проводов подключена к барьеру искрозащиты аналогового ввода D5011S. С барьера два провода подключаются к терминальному модулю аналогового ввода Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AH62-5XX0. Из терминального модуля местной аппаратной кабеля проложены к центральной операторной. Там он подключён к ПЛК через модуль аналогового ввода Siemens 6ES7331-7TF01-0AB0. Схема подключения сигнала аналогового ввода представлена на рисунке 18.

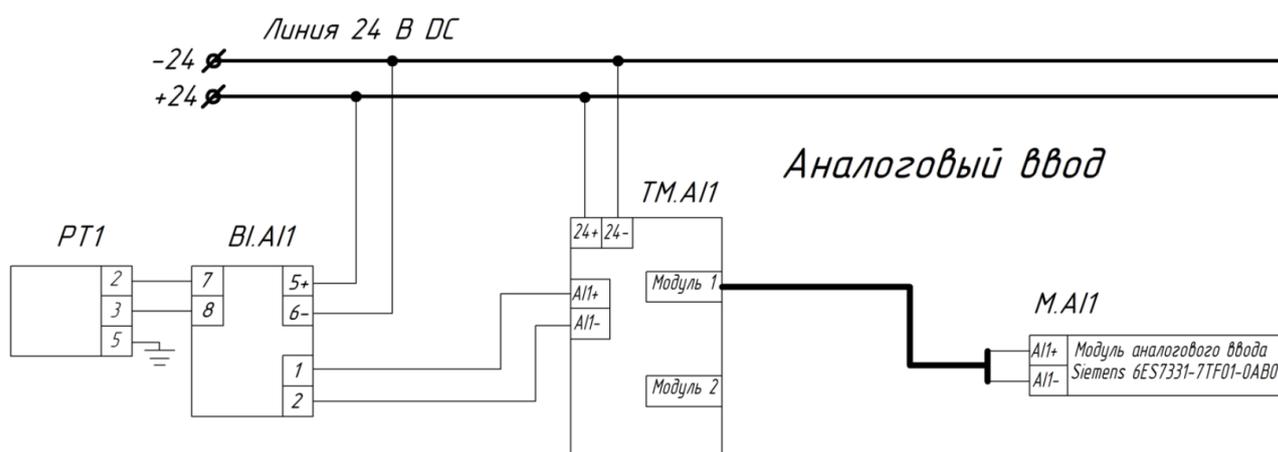


Рисунок 18 – Типовое подключение аналогового ввода

4.1.2 Аналоговый вывод

Сигнал управления формируется от ПЛК и поступает на модуль аналогового вывода Siemens 6ES7332-8TF01-0AB0. После этого сигнал проходит до терминального модуля аналогового вывода Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AB61-2XX0 и выдаёт на выходе унифицированный сигнал по току 4-20 мА. Следом сигнал проходит до барьера искрозащиты аналогового вывода G.M. International D5020S и потом передаётся устройству управления. Схема подключения сигнала аналогового вывода представлена на рисунке 19.

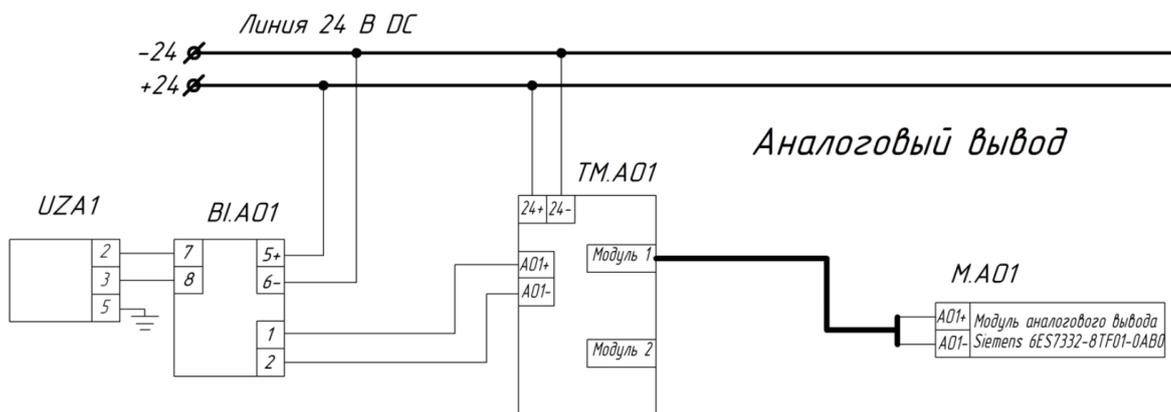


Рисунок 19 – Типовое подключение аналогового вывода

4.2 Способы подключения дискретного сигнала

4.2.1 Дискретный ввод

Два провода (белый и чёрный) проведены к шкафу управления от источника замыкания дискретного сигнала (кнопки). Кабель представляет собой витую пару с внешним защитным слоем. На входе в шкаф управления контакты дискретного сигнала соединяют на клеммник согласно проектно документации. С клеммников пара проводов подключена к барьеру искрозащиты дискретного ввода G.M.International D5034. С барьера два провода подключаются к терминальному модулю дискретного ввода Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AC11-3XX. Из терминального модуля местной аппаратной кабеля проложены к центральной операторной. Там он подключён к ПЛК Siemens 6ES7336-4GE00-0AB0 через модуль дискретного ввода Siemens 6ES7321-7BH01-0AB. Схема данного соединения представлена на рисунке 20.

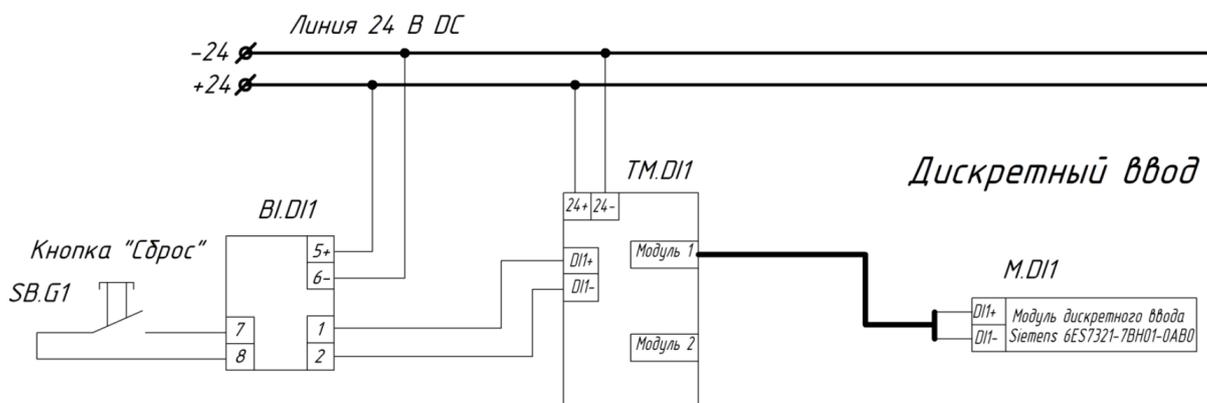


Рисунок 20 – Типовое подключение дискретного ввода

4.2.1 Дискретный вывод

Сигнал дискретного ввода формирует ПЛК и отправляет на модуль дискретного вывода Siemens 6ES7322-8BH10-0AB0. После этого сигнал проходит до терминального модуль дискретного вывода Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AD11-2XX0, где после преобразования до унифицированного сигнала по току 4-20 мА направляется барьер искрозащиты дискретного ввода G.M.International D5096. Если ПЛК выдает высокий уровень дискретного сигнала, то лампа загорается, если низкий, то гаснет. На рисунке 21 представлена схема подключения типового дискретного вывода.

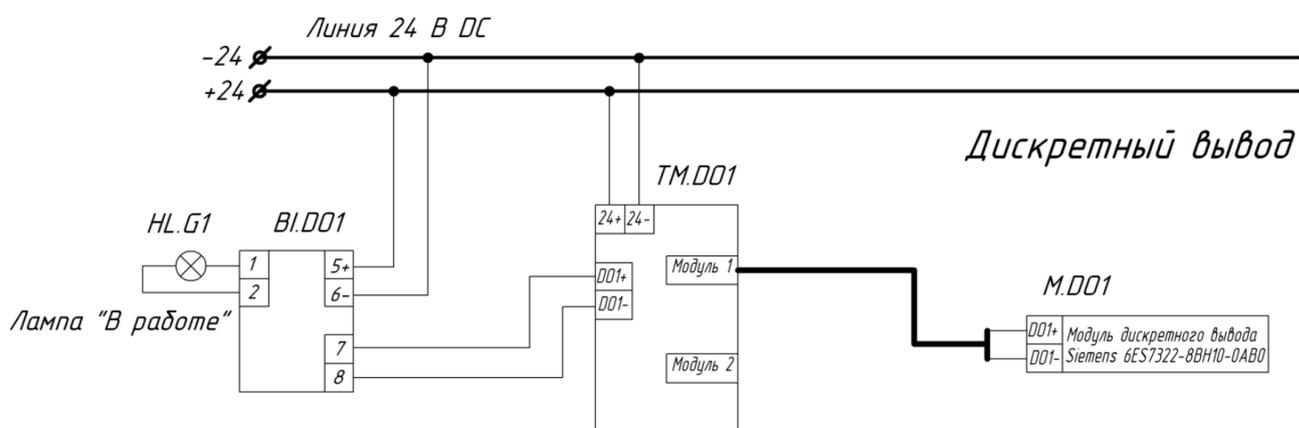


Рисунок 21 – Типовое подключение дискретного вывода

5 РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Для реализации автоматизированной системы управления в данной работе будут использоваться ряд программного обеспечения с различным функционалом.

Для реализации имитационной модели дожимного компрессора была выбрана среда графического программирования Simulink, которая работает на основе MATLAB.

Логическая часть программы управления будет реализована в CoDeSys на языке ST. Также, благодаря OPC серверу CoDeSys реализована связь между объектом управления, виртуальным логическим контроллером и человеко-машинным интерфейсом.

Человеко-машинный интерфейс будет реализован в программном комплексе класса SCADA – TRACE MODE.

5.1 Имитационная модель объекта

Для того, чтобы передавать и получать данные через OPC сервер, нужно разместить и настроить несколько блоков. Данные блоки располагаются в библиотеке в разделе OPC Toolbox. OPC Config. Блок OPC Write записывает значения из модели на сервер. Блок OPC Read передаёт имитационной модели входные параметры, которые нужны для управления технологическим процессом. Блок OPC Config предоставляет возможность контролировать переменные в реальном времени. При передачи булевых переменных, Simulink неправильно интерпретирует их. Вместо единицы, на вход приходит минус единица. Для решения этой проблемы на входе булевых переменных стоит блок Gain, который умножает сигнал на минус единицу. На рисунке 22 изображены блоки для связи с OPC сервером.

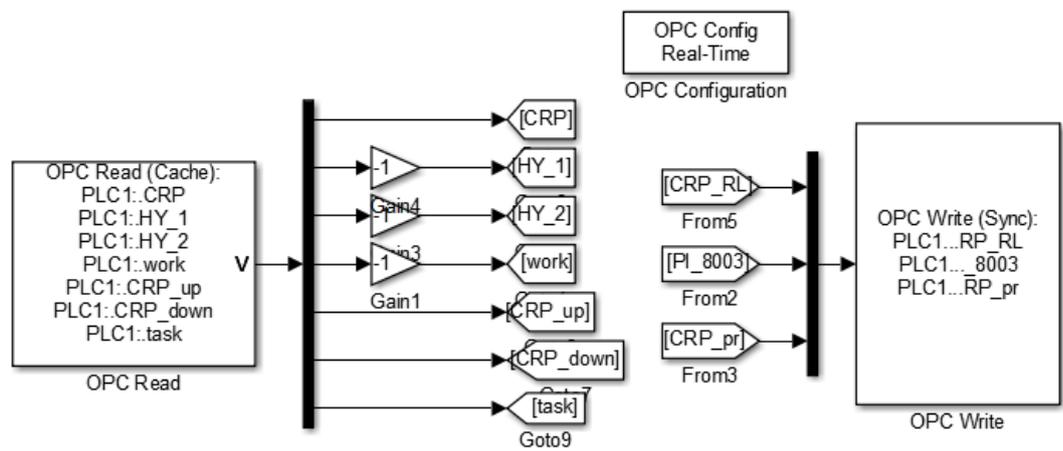


Рисунок 22 – Блоки для связи с OPC сервером

В данной модели ЧРП представлен в виде задания по частоте, релейного регулятора и интегратора. Задание по частоте формируется оператором или автоматически, если включен соответствующий режим. Релейные регулятор позволяет плавно набирать и опускать частоту с заданной скоростью. Интегратор с обратной связью накапливает частоту в соответствии с заданием. Модель ЧРП изображена на рисунке 23.

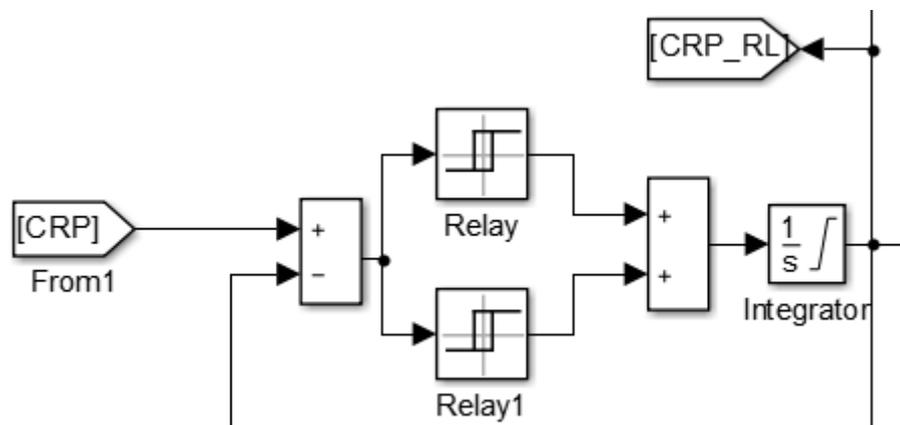


Рисунок 23 – Модель ЧРП

Поршневой компрессор представлен в виде блока Gain, так как описывается коэффициентом сжатия. Так как в данной работе, расход на входе не регулируется, поэтому примем, что он постоянный и равен $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Блок, описывающий дожимной компрессор изображен на рисунке 24.

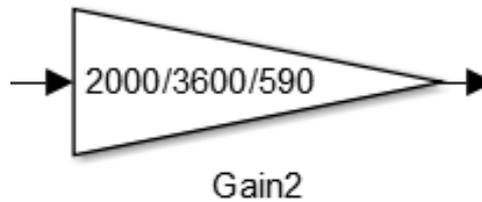


Рисунок 24 – Модель дожимного компрессора

Так как производительностью управляют два разгрузочных клапана, и при работе только одного производительность не превышает 50%, модель клапанов представляет собой разветвление сигнала на выходе из компрессора, делённого на два. Если активны оба разгрузочных клапана, то на вход в коллектор компрессора придет весь сигнал, если активен только один, то половина. Если оба неактивны, то сигнал отсутствует. На рисунке 25 изображена модель клапанов.

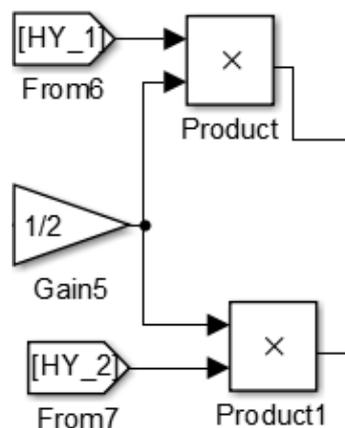


Рисунок 25 – Модель разгрузочных клапанов

Коллектор сжатого воздуха представлен в виде интегратора, который накапливает давление на выходе из компрессора и предаёт значение на датчик. Для имитации потребителя сжатого воздуха на сумматор приходит отрицательный сигнал task со SCADA. На рисунке 26 изображена модель коллектора и потребитель сжатого воздуха.

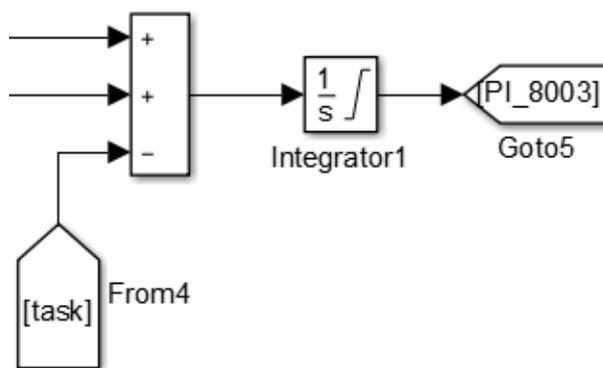


Рисунок 26 – Модель коллектора

5.2 Программа управления

Программа управления реализует:

- автоматический режим управления;
- ручной режим управления;
- задания блокировок уровня;
- отображение индикации на SCADA.

Вся программа управления состоит из основной программы PLC_PRG и подпрограмм, которые вызываются при выполнении определённого условия. Подпрограммы block и indicator вызываются без условий. Подпрограмма auto вызывается только если была дана команда перейти в режим auto, не включен демонстрационный режим и компрессор выбран как основной. Если же команды на переход в режим auto не было, то программа переходит в подпрограмму manual. Также, если была нажата кнопка reset, то произойдёт вызов подпрограммы reset. На рисунке 27 изображен код основной программы.

```

block;
indicator;
IF auto_i AND NOT demo_i AND change_mode_i THEN
  auto;
ELSIF demo_i OR NOT change_mode_i THEN
  b_auto:=0;
ELSIF NOT auto_i THEN
  manual;
END_IF
IF reset_i THEN
  reset;
END_IF

```

Рисунок 27 – Код основной программы PLC_PRG

При переходе в подпрограмму auto, если компрессор не работает и уровень давления ниже PAL, то происходит запуск компрессора, вызовом подпрограммы starting. Если компрессор работает и уровень давления ниже PAH, то компрессор переходит в режим работы с 50% загрузки. Если уровень PAH был достигнут, то компрессор переходит в режим разгрузки. Если уровень компрессора ниже PALL, то компрессор переходит в режим работы со 100% загрузки. На рисунке 28 изображен код подпрограммы auto.

```
IF NOT work AND (PAL OR PALL) THEN
    starting;
END_IF
IF work AND (PAL OR NOT PAH) AND NOT PALL THEN
    R50;
ELSIF work AND PAH THEN
    R0;
ELSIF work AND PALL THEN
    R100;
END_IF
```

Рисунок 28 – Код подпрограммы auto

Подпрограмм block устанавливает значения уровней давления. Если активирован режим auto, то значения уровней давления будут стандартными. Если режим auto не активирован, то значение уровней давления задаются оператором через интерфейс SCADA. На рисунке 29 представлен код подпрограммы block.

```
IF auto_i THEN
    PAH:=((PI_8003)>(3.8));
    PAL:=((PI_8003)<(3.3));
    PALL:=((PI_8003)<(3.0));
END_IF;
IF NOT auto_i THEN
    PAH:=((PI_8003)>(PAH_i));
    PAL:=((PI_8003)<(PAL_i));
    PALL:=((PI_8003)<(PALL_i));
END_IF;
```

Рисунок 29 – Код подпрограммы block

Подпрограмма indicator нужна для формирования сигналов обратной связи для ЧМИ. Такие сигналы как переход в режим auto, кнопка reset, переход в режим демо, смена активного компрессора, задание потребителя сжатого воздуха, данная подпрограмма дублирует и отправляет значения в новой переменной, для подтверждения обработки действия. На рисунке 30 изображен код подпрограммы indicator.

```

auto_i:=b_auto;
reset_i:=b_reset;
demo_i:=b_change_demo;
change_mode_i:=b_change_mode;
task:=b_task;
IF NOT auto_i THEN
    PAH_i:=b_PAH;
    PAL_i:=b_PAL;
    PALL_i:=b_PALL;
    CRP_up:=b_CRP_up;
    CRP_down:=b_CRP_down;
ELSIF auto_i THEN
    PAH_i:=3.8;
    PAL_i:=3.3;
    PALL_i:=3.0;
    b_PAH:=3.8;
    b_PAL:=3.3;
    b_PALL:=3.0;
    CRP_up:=5;
    CRP_down:=5;
    b_CRP_up:=5;
    b_CRP_down:=5;
END_IF

```

Рисунок 30 – Код подпрограммы indicator

Подпрограмма manual запускается только тогда, когда не активен режим auto. В данной подпрограмме частота ЧРП задаётся оператором, а сигнал о работе активен до того, пока ЧРП не достигнет 0 Гц. На рисунке 31 изображен код подпрограммы manual.

```

CRP:=b_CRP;
IF (CRP<>0) OR (CRP_RL<>0) THEN
work:=1;
ELSE
work:=0;
END_IF

```

Рисунок 31 – Код подпрограммы manual

Подпрограмма R0 описывает действие системы при входе в режим разгрузки. Индикация режима для SCADA выставляется в 0%. Задаётся таймер, по истечению времени которого. Частота ЧРП задаётся в 0 Гц, режим работы отключается, таймер сбрасывается, разгрузочные клапана обесточены. Если таймер не закончил отсчёт, то разгрузочные клапана будут обесточены, а ЧРП за-

даётся значение на минимальной частоте 10 Гц. На рисунке 32 изображен код подпрограммы R0.

```
CRP_i:=0;
Timer1(IN:=TRUE, PT:=T#10S);
IF NOT timer1.Q THEN
  HY_2:=0;
  HY_1:=0;
  CRP:=10;
END_IF
IF timer1.Q THEN
  HY_2:=0;
  HY_1:=0;
  CRP:=0;
  work:=0;
  Timer1(IN:=FALSE);
END_IF
```

Рисунок 32 – Код подпрограммы R0

При переходе в режим работы в 100% загрузки питание подводится к двум разгрузочным клапанам, значение ЧРП выставляется на максимальное значение в 50 Гц. А индикации для SCADA присваивается 100%. На рисунке 33 представлен код подпрограммы R100.

```
CRP_i:=100;
HY_1:=1;
HY_2:=1;
CRP:=50;
```

Рисунок 33 – Код подпрограммы R100

При 50% загрузки индикация выставляется на 50% и запускается первый таймер. Вместе с таймером задаётся частота в 25 Гц и подаётся ток к первому разгрузочному клапану. После истечения времени первого таймера запускается второй, а также разгрузочные клапана меняются местами, ток подаётся ко второму, первый обесточен. После истечения времени второго таймера оба таймера обнуляются и цикл начинается сначала. На рисунке 34 изображен код для подпрограммы управления с 50% загрузки компрессора.

```

CRP_i:=50;
IF NOT timer1.Q THEN
  HY_2:=0;
  HY_1:=1;
  CRP:=25;
  Timer1(in:=TRUE, PT:=T#5s); (*тут было
ELSIF Timer1.Q AND NOT Timer2.Q THEN
  HY_1:=0;
  HY_2:=1;
  CRP:=25;
  Timer2(IN:=TRUE, PT:=T#5s); (*тут был
ELSIF Timer2.Q AND Timer1.Q THEN
  Timer1(in:=FALSE);
  Timer2(in:=FALSE);
END_IF

```

Рисунок 34 – Код подпрограммы R50

При нажатии на кнопку reset будет вызвана подпрограмма для сброса всех значений к первоначальным настройкам. На рисунке 35 изображен код подпрограммы reset.

```

auto_i:=0;
CRP:=0;
CRP_i:=0;
b_auto:=0;
b_change_demo:=0;
HY_1:=0;
HY_2:=0;
b_change_mode:=0;
b_change_demo:=0;
b_PAH:=3.8;
b_PAL:=3.3;
b_PALL:=3.0;
b_CRP_up:=5;
b_CRP_down:=5;
b_reset:=0;

```

Рисунок 35 – Код подпрограммы reset

При запуске подпрограммы starting разгрузочные клапана обесточены, а на ЧРП подаёт минимальную частоту в 10 Гц. Запускается таймер, по истечению которого компрессор переходит в режим работы, таймер обнуляется и происходит выход из подпрограммы. На рисунке 36 изображен код подпрограммы starting, для запуска компрессора.

```

IF NOT work THEN
  HY_1:=0;
  HY_2:=0;
  CRP:=10;
  TimerStart1:=TRUE;
END_IF
Timer1(IN:=TimerStart1, PT:=T#4S); (*тут было 30 с*)
IF timer1.Q THEN
  work:=1;
  TimerStart1:=0;
  Timer1(IN:=TimerStart1, PT:=T#4S); (*тут было 30 с*)
END_IF

```

Рисунок 36 – Код подпрограммы starting

5.3 Человеко-машинный интерфейс

Технические средства и методы позволяющие оператору управлять технологическим процессом называют человеко-машинным интерфейсом (ЧМИ). В данной работе в качестве ЧМИ используется SCADA TRACE MODE 6. Связь с контроллером реализовано через OPC сервер CoDeSys.

На рисунке 37 изображены сигналы OPC сервера. С их помощью будет происходить обмен данными между сервером и клиентом SCADA.

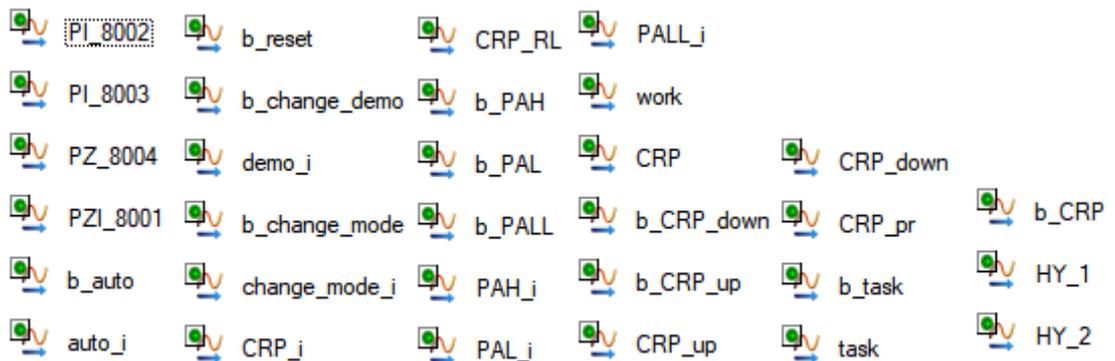


Рисунок 37 – Сигналы OPC сервера

В процессе работы был реализован интерфейс для оператора остановки. Имеется возможность изменить режим работы компрессора, переключив его в рабочий режим или выбрать данный компрессора, как компрессор в ожидании. Текущий режим отображается в рамке. Если компрессор в ожидании, то его нельзя запустить.

Присутствует функционал включения/выключения демонстрационного режима. Данный режим используется для того, чтобы настроить продувочные клапана. В данной работе целевого функционала не имеет. При активном демонстрационном режиме, компрессор нельзя запустить.

Кнопка автоматического управления имеет индикацию работы. Если кнопка загорается синим, то в данный момент включен автоматический режим. Если кнопка серая, то автоматический режим отключен. Автоматический режим не может быть запущен, если компрессор в ожидании или активен демо режим.

Индикатор загрузки отображает режим работы компрессора в данный момент. Индикатор работает в автоматическом и ручном режимах. У индикатора есть три значения 0%, 50% и 100%, каждое значение соответствует режиму работы (режимы работы были описаны ранее).

В интерфейсе управления компрессором есть возможность изменить пороги давления, а именно: PАН, PАL и PАLL. Изменения возможны в пределах от 3 МПа до 3,8 МПа. В автоматическом режиме пороги давления выставляются автоматически.

На рисунке 38 изображен блок управление компрессором в Trace mod в неактивном состоянии.

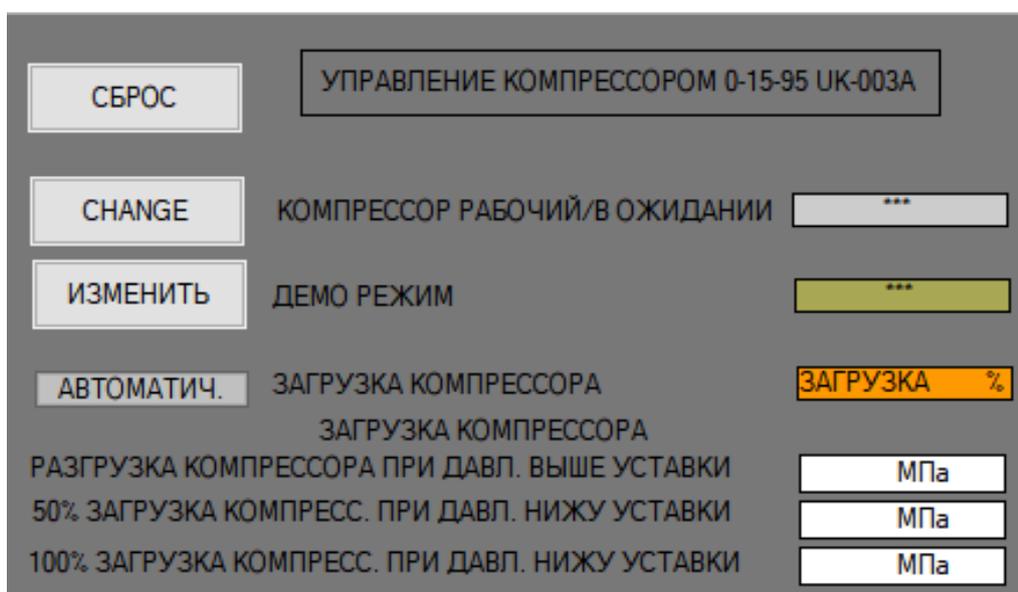


Рисунок 38 – Блок управление компрессором

Также, в данной системе присутствует блок управления ЧРП, который изображен на рисунке 39 в неактивном состоянии.



Рисунок 39 – Блок управления ЧРП

В графу управляющий сигнал ЧРП вносится желаемая частота от нуля до пятидесяти герц. Снизу отображается реальная частота, выдаваемая ЧРП на электродвигатель в герцах. В правом столбце в графе выходной сигнал скорости отображается текущая скорость ЧРП в процентах от максимума. С помощью уставки скорости открытия и закрытия имеется возможность задать скорость набора и спада частоты при смене режима работы.

Для удобства имитирования расхода от потребителя, в интерфейс SCADA был установлен ползунок в пределах от 0 до 0,3 МПа/с. На рисунке 40 изображен данный ползунок.

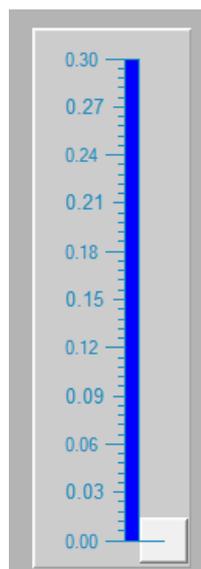


Рисунок 40 – Ползунок имитирования расхода от потребителя

На входе и на выходе установлены по два датчика давления. На входе давление не изменяется, так как за контроль давления на входе отвечает другая установка. Давление на выходе поддерживается в пределах: 3,3 МПа-3,8 МПа.

Во время работы, если компрессор запущен, то цилиндры компрессора на мнемосхеме меняют свой цвет на зелёный. Данное изменение можно увидеть на рисунке 41.

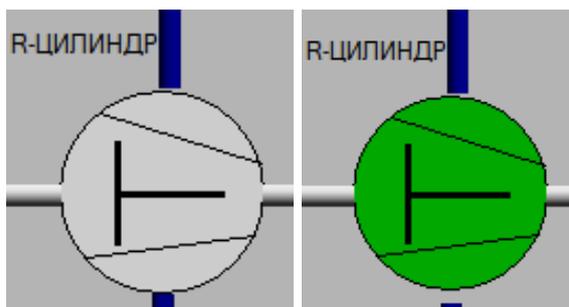


Рисунок 41 – Индикация работы компрессора

Разгрузочные клапана имеют три вида индикации:

- компрессор выключен;
- компрессор в работе, но питания не подаётся на клапан;
- компрессор в работе и питание подаётся на клапан.

Данная индикация изображена последовательно на рисунке 42.

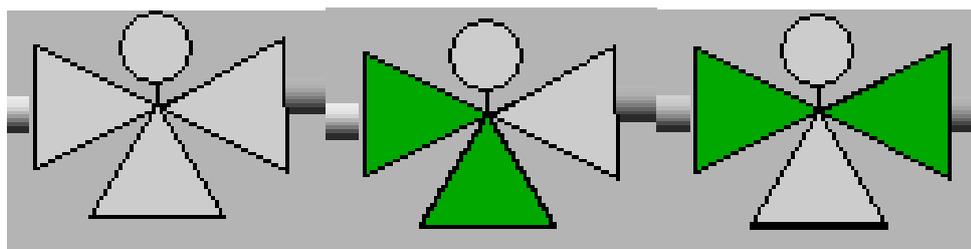


Рисунок 42 – Индикация разгрузочного клапана

Переменные для передачи значений и переменные для отображения значений – разные. Это позволяет оператору получать обратную связь от контроллера и быть уверенным, что его действия были зафиксированы системой.

6 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

6.1 Безопасность

Управление установкой дожимного компрессора производится с центральной операторной. Далее будут описаны правила безопасности для оператора.

Сегодня невозможно обойтись без средств вычислительной техники при проектировании, создании и эксплуатации ПО для управления компрессорными установками на производстве. Однако взаимодействие с данным оборудованием сопряжено с риском воздействия множеством вредных факторов. Перечень данных вредных факторов представлено в ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Классификация опасных и вредных производственных факторов [22].

Среди угроз на рабочем месте выделяются: термическое воздействие оборудования, высокий уровень шума, вибрация, а также повышенная температура окружающей среды. Дополнительные риски включают: опасное напряжение в электросетях, способное вызвать поражение током, вредное электромагнитное излучение и недостаток освещенности, ухудшающий условия труда. Данные факторы нужно учитывать и предпринимать соответствующие меры для создания безопасных и комфортных условий труда.

Для профилактики профессиональных заболеваний, вызванных физическим перенапряжением и нагрузкой на зрение, внедряются различные защитные мероприятия [23]:

- монтаж систем искусственного освещения;
- организация акустически защищенных помещений;
- монтаж систем кондиционирования и вентиляции;

6.1.1 Технические условия для рабочей зоны оператора

Исходя из ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения» для удобства оператора важно учитывать такие аспекты [24]:

- оптимальная высота стола для взрослых пользователей должна составлять от 680 до 800 мм. При невозможности регулировки рабочая поверхность должна иметь фиксированную высоту 725 мм;

- столы для ПЭВМ должны соответствовать размерам модуля. Стандартные габариты: ширина – 800, 1000, 1200, 1400 мм; глубина – 800 или 1000 мм; фиксированная высота – 725 мм. Габариты стола необходимо проектировать в соответствии с указанными размерами;

- минимальные габариты зоны для ног включают: 600 мм по высоте, 500 мм по ширине, а глубина должна варьироваться от 450 мм в коленной части до 650 мм для свободного положения ног.

Правильное расположение техники и просторная рабочая зона – ключевые факторы комфортной работы. Оборудование следует располагать так, чтобы обеспечивать свободу движений и передвижений. При организации компьютерных рабочих мест желательно, чтобы естественное освещение поступало сбоку, преимущественно слева.

Оптимальное рабочее положение оператора – сидя, что уменьшает нагрузку. Главные составляющие такого места – правильно спроектированные кресло и стол [24].

Конструкция рабочих кресел должна предусматривать регулировку: высоты сидения и спинки, угла их наклона, а также расстояния от края сидения до спинки. Конструкция кресла должна соответствовать следующим требованиям: сиденье необходимо изготовить шириной и глубиной не менее 400 мм с обязательным закруглением переднего края, при этом высота сиденья должна регулироваться в диапазоне от 400 до 550 мм с возможностью изменения угла наклона до 15 градусов вперед и до 5 градусов назад. Спинка кресла должна иметь размеры по высоте не менее 300 мм и по ширине не менее 380 мм, обеспечивая необходимую поддержку спины пользователя. Все регулировочные механизмы должны быть надёжными и просторными в использовании, позволяя оператору легко адаптировать кресло под индивидуальные особенности.

Для комфортной работы оператора крайне важно правильное позиционирование монитора. Конструкция должна предусматривать регулировку: вертикальное перемещение в пределах 3 см, изменение угла наклона от -10 до +20 от вертикали, а также поворот в горизонтальной плоскости.

Оптимальное восприятие информации требует учета:

- размер и плотности символов;
- контраста между текстом и фоном;
- баланса яркости элементов экрана.

Для обеспечения комфортной и безопасной работы оператора на расстоянии 60-80 см от экрана необходимо соблюдать определенные требования к отображению информации. Минимальная высота знаков должна составлять не менее 3 мм при оптимальном соотношении ширины к высоте 3:4. Расстояние между символами рекомендуется поддерживать в пределах 15-20% от их высоты. Важным параметром является соотношение яркости фона и символов, которое должно находиться в диапазоне от 1:2 до 1:15, при этом наиболее комфортным для восприятия считается диапазон 1:3-1:8 [24].

Оптимальная дистанция от глаз до экрана – 50-60 см. Оптимальное положение экрана – когда его верхняя часть находится на одной линии с глазами или слегка опущена. Направление взгляда вниз не позволяет векам полностью закрыть глаза, усиливая их обезвоживание и увеличивая поле зрения. Слишком высокое расположение экрана заставляет глаза оставаться широко открытыми, из-за чего нарушается процесс моргания. Это приводит к быстрой усталости, поскольку глаза не смыкаются полностью и недостаточно увлажняются слезной жидкостью [24].

6.1.2 Параметры воздушной среды рабочей зоны

Рабочая зона операторов подвержена повышенным температурным нагрузкам из-за тепловыделения вычислительной техники и периферийных устройств. Подобные условия могут спровоцировать изменения параметров микроклимата и привести к перегреву сотрудников.

На рабочих местах с ПЭВМ, предполагающих интенсивное умственное напряжение, должны соблюдаться оптимальные показатели температуры, влажности и вентиляции, установленные для категорий труда 1а и 1б по ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [25].

В теплый период для поддержания комфортного микроклимата и отвода избыточного тепла используют приточные вентиляторы и вытяжные дефлекторы. Летом необходимо установить кондиционер, поскольку температура в помещении может превышать 25° С, создавая дискомфорт. В зимний сезон необходимый уровень температуры поддерживается с помощью отопительных приборов и центрального отопления.

6.1.3 Допустимые уровни шумового и вибрационного воздействия

Повышенный шум от работы компьютеров и периферийных устройств снижает работоспособность и повышает риск травматизма, негативно влияя на нервную систему человека. Продолжительное воздействие шума вызывает негативные последствия, включая рост артериального давления и ухудшения слуха.

При выполнении основных и вспомогательных операций с использованием компьютерной техники в производственных условиях необходимо обеспечивать соответствие уровня шума установленным нормативным требованиям для конкретных видов деятельности. Оборудование с повышенным уровнем шума должно располагаться за пределами компьютерных залов, если шум превышает установленные нормы.

Для снижения уровня шума используются различные технические и организационные меры, включая звукоизоляцию, шумопоглощающие материалы и рациональное размещение оборудования. Дополнительное решение состоит в изменении вектора распространения звуковых волн [24].

6.1.4 Электробезопасность

Повышенное напряжение в электросети – ключевой фактор риска электротравматизма, который может возникать из-за различных обстоятельств.

Контакт с оголенными токоведущими частями или неисправными электроприборами, находящимися под напряжением, создает непосредственную угрозу поражения электрическим током. Термическое действие тока вызывает ожоги в местах контакта, что является одним из типов электротравм.

Воздействие ультрафиолетового излучения при дуговом разряде приводит к электроофтальмии – болезненному воспалению глазных оболочек. Непроизвольные мышечные сокращения при поражении током часто приводят к механическим травмам.

Для защиты от поражения током в электрической розетке предусмотрен заземляющий провод или внешний контур заземления, обеспечивающий безопасность. Сопротивление заземляющего контура не должно превышать 4 Ом. Дополнительно проводятся инструктажи по технике безопасности, а эксплуатация электрооборудования осуществляется в соответствии с технической документацией [26].

6.1.5 Безопасность при работе с дожимным компрессором

Эксплуатация дожимного компрессора с давлением на выходе 3,5 МПа требует строгого соблюдения норм и правил промышленной безопасности во избежание аварийных ситуаций и травматизма персонала. В соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», все работы с оборудованием, работающим под высоким давлением, должны проводиться с соблюдением установленных регламентов и под контролем ответственных специалистов [27].

Установка имеет два противопожарных клапана, которые стравливают давление в безопасную зону при возникновении пожара. Первый клапан установлен на входе установки и рассчитан на давление до 1,3 МПа. Второй клапан установлен на выходе из установки и рассчитан на давление 3,85 МПа. На рисунке 43 изображены данные клапана.

Дожимной компрессор имеет три порога уровня, которые зависят от давления нагнетания. При достижении уровня РАН (высокое давление воздуха КИП ВД), компрессор переходит в режим работы 0% загрузки, при котором

давление в системе перестает расти, тем самым предотвращает накопление опасно высокого давления. На рисунке 44 изображена логика изменения уровня.

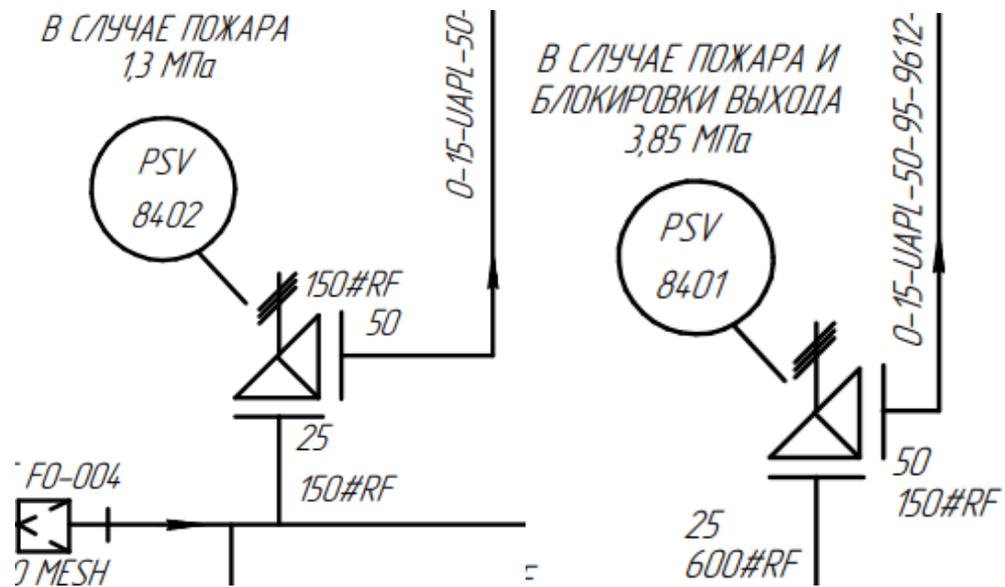


Рисунок 43 – Противопожарный предохранительный клапан на входе/выходе

0001	PAH:=(PI_8003)>(3.8);
0002	PAL:=(PI_8003)<(3.3);
0003	PALL:=(PI_8003)<(3.0);

Рисунок 44 – Логика изменения сигнализирующих уровней

6.2 Экологичность

Экологическая безопасность является важным аспектом эксплуатации дожимного компрессора. Хотя рабочей средой установки является воздух, не содержащий токсичных компонентов, процесс сжатия и транспортировки газа сопряжен с рядом экологических рисков, требующих контроля и минимизации воздействия на окружающую среду.

При работе компрессора возможны утечки сжатого воздуха, содержащего микрочастицы масла из системы смазки. Согласно ГОСТ Р 56162-2019 концентрация масляных аэрозолей в выбросах не должна превышать $0,5 \text{ мг/м}^3$. Для со-

блюдения нормативов используются маслоотделители и фильтры тонкой очистки [28].

В процессе сжатия воздуха выделяется значительное количество тепла, которое отводится системой охлаждения. Нагретый теплоноситель должен охлаждаться, чтобы избежать локального перегрева окружающей среды.

Техническое обслуживание компрессора сопровождается образованием отходов: отработанного масла, фильтрующих элементов и изношенных деталей. Эти отходы относятся к III–IV классу опасности и подлежат сбору, учету и передаче лицензированным организациям для утилизации [29].

Работа компрессора может негативно повлиять на экосистему. Из-за повышенного уровня шума нарушается жизнедеятельность животных, птиц и мелких млекопитающих, которые обитают на данной территории.

Для снижения экологической нагрузки требуется:

- регулярный контроль герметичности соединений и состояния фильтров для предотвращения утечек масла и воздуха;
- использование синтетических масел с повышенной биоразлагаемостью;
- обучение персонала правилам экологической безопасности и действиям при аварийных разливах масла.

6.3 Чрезвычайные ситуации

6.3.1 Чрезвычайные ситуации при эксплуатации компрессора

Эксплуатация дожимного компрессора, работающего с высоким давлением до 3,5 МПа, представляет собой технологический процесс повышенной опасности, требующий строгого соблюдения норм безопасности и постоянного контроля. Основные риски связаны с возможностью разгерметизации системы, разрушения элементов конструкции и возникновения аварийных ситуаций с серьезными последствиями для персонала, оборудования и окружающей среды.

Одной из наиболее опасных ситуаций является разрыв трубопроводов или корпуса компрессора, который может произойти по нескольким причинам. Превышение рабочего давления вследствие отказа предохранительных клапанов является типичной причиной аварий. Коррозия и усталость металла, осо-

бенно в сварочных швах и на стенках труб, требуют регулярного контроля. Не менее опасен гидроудар, возникающий при попадании жидкости в воздушную магистраль, а также последствия неквалифицированного ремонта, когда нарушается технологии сварки или применяются несоответствующие материалы. Последствия таких аварий крайне серьезны – мгновенный выброс сжатого воздуха создает эффект «пневматического взрыва» с образованием ударной волны и разлетом металлических осколков, что представляет прямую угрозу для жизни персонала и может привести к масштабным разрушениям оборудования.

Не менее опасной является возможность взрыва компрессора, который может быть вызван перегревом цилиндров свыше 120 °С из-за отказа системы охлаждения, что нарушает требования ГОСТ 12.2.016-81 [30].

Другой причиной может стать детонация масляных паров в картере при достижении их концентрации выше нижнего концентрационного предела распространения пламени. Искрообразование в электрических цепях, особенно при несоответствии оборудования требованиям ПУЭ, также создает серьезную пожароопасную ситуацию. Последствия взрыва компрессора катастрофичны – разрушение корпуса сопровождается разлетом частей на расстояние до 50 метров, а возникший пожар требует специальных средств тушения и может привести к масштабным повреждениям.

Значительную экологическую угрозу представляет выброс масла в окружающую среду, который может произойти при разрыве маслопроводов или переполнении маслоотделителей. Согласно СанПиН 2.1.3684-21, всего 1 литр разлившегося масла делает непригодным 1 кубический метр почвы, что требует немедленных мер по локализации и ликвидации последствий. Особую опасность такие разливы представляют для водных объектов, где могут вызвать долгосрочные экологические последствия [31].

При возникновении чрезвычайной ситуации персонал должен немедленно остановить компрессор с помощью аварийной кнопки, провести эвакуацию из зоны поражения, приступить к локализации утечки путем перекрытия запор-

ной арматуры и использования специальных сорбентов, а также оповестить аварийные службы предприятия и Ростехнадзор [31].

6.3.2 Пожарная безопасность

Как отмечалось ранее, рабочее место оператора компрессорной установки вынесено в отдельное здание – центральную операторную, что требует особого внимания к соблюдению противопожарных норм именно в этом помещении.

Возникновение возгораний электрооборудования в центральной операторной может быть обусловлено различными факторами. Основные причины включают: короткое замыкание, перегрузки сетей, высокие переходные сопротивления, искрообразование, дуговые разряды и накопление статического электричества. Применение электрооборудования, не соответствующего классу пожарной опасности помещения, может привести к возгоранию. Отсутствие защитных устройств в электронном оборудовании может привести к возгоранию [32].

Обеспечение пожарной безопасности в центральной операторной требует комплексного учета ключевых факторов риска. Ключевым элементом пожарной безопасности является автоматическая система обнаружения возгораний, оперативно сигнализирующая об опасности. Основная функция системы – оперативно оповещать дежурных о возгорании и точно определить его локализацию. Данная система может выявить пожар на ранней стадии и автоматически активировать установки тушения и удаления дыма.

В целях пожарной безопасности на всех этажах здания размещены планы эвакуации в доступных и хорошо просматриваемых местах. План эвакуации состоит из двух частей – графической схемы и текстовой инструкции. На чертеже четко изображена планировка этажа, где основные пути эвакуации выделены сплошными зелеными стрелками, и где запасные маршруты обозначены пунктирными линиями. Планы эвакуации содержат условные обозначения, указывающие расположение огнетушителей, пожарных кранов и телефонов экстренной связи. Эти знаки выполняются в соответствии с ГОСТ и размещаются рядом с соответствующими объектами на схеме [33].

Планы эвакуации, охватывающие целые этажи или помещения, должны быть не менее 600 мм в длину и 400 мм в ширину, в то время как для отдельных зон допустимы меньшие размеры – 400x300 мм. Для разработки плана эвакуации необходимо предоставить поэтажные планы помещения от бюро технической инвентаризации, включая точные названия всех зон, полное наименование организации, должность и ФИО ответственного за утверждение документа. Также требуется указать расположение средств противопожарной защиты: огнетушителей, пожарных кранов, электрощитов, ручных извещателей, телефонов экстренной связи, запасных выходов и пожарных лестниц [34].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была описана воздушная компрессорная установка и дожимной компрессор в частности. Были успешно реализованы все поставленные задачи. Была детально изучен дожимной компрессор, включая анализ технической документации и технологических процессов системы. Проведено исследование технических характеристик и эксплуатационных свойств дожимного воздушного компрессора, что позволило получить полное представление о работе данного оборудования.

Важным результатом исследования стала разработка программного прототипа системы управления дожимным воздушным компрессором для Амурского газоперерабатывающего завода. Созданный прототип подтвердил свою работоспособность. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития системы автоматизации производственных процессов на предприятии.

Была разработана общая технологическая схема Амурского газоперерабатывающего завода, схема общего плана воздушной установки, функциональная схема, схема технических средств автоматизации, принципиальная схема, разработана имитационная модель объекта управления, написан код для программы управления установки, разработан человеко-машинный интерфейс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gazprom.ru: Амурский газоперерабатывающий завод. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/projects/amur-gpp>. – 23.06.2025.
- 2 Olil.ru: Термопреобразователь сопротивления TOPP-1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://olil.ru/product/termopreobrazovatel-topp-1-tip-pt100-ot-200-do-600-c-klass-b>. – 23.06.2025.
- 3 Microsensorcorp.ru: Датчик давления MPM486. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.microsensorcorp.ru/Product-details_intrinsic-safe-Pressure-Transmitter-MPM486.html. – 23.06.2025.
- 4 Olil.ru: Преобразователь температуры LIMATHERM FLEX TOP 2231. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://olil.ru/product/preobrazovatel-temperature-2-40-ma-flex-top-2211-2221-2231>. – 23.06.2025.
- 5 Siemens-Pro.ru: Модульные программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-400. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-400.htm>. – 23.06.2025.
- 6 Mall.Industry.Siemens.com: Центральный процессор Siemens Simatic S7-400H 6ES7410-5HX08-0AB0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7410-5HX08-0AB0>. – 23.06.2025.
- 7 Mall.Industry.Siemens.com: Блок электропитания Siemens Siplus 6AG1407-0KA02-7AA0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6AG1407-0KA02-7AA0>. – 23.06.2025.
- 8 Mall.Industry.Siemens.com: Модуль аналогового ввода Siemens 6ES7331-7TF01-0AB0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7331-7TF01-0AB0>. – 23.06.2025.

9 Mall.Industry.Siemens.com: Модуль аналогового вывода Siemens 6ES7332-8TF01-0AB0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7332-8TF01-0AB0>. – 23.06.2025.

10 Mall.Industry.Siemens.com: Модуль дискретного ввода Siemens 6ES7321-7BH01-0AB0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7321-7BH01-0AB0>. – 23.06.2025.

11 Mall.Industry.Siemens.com: Модуль дискретного вывода Siemens 6ES7322-8BH10-0AB0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7322-8BH10-0AB0>. – 23.06.2025.

12 Mall.Industry.Siemens.com: Интерфейсный модуль Siemens Simatic 6ES7153-2BA10-0XB0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7153-2BA10-0XB0>. – 23.06.2025.

13 GMInternational.com: Барьер искрозащиты G.M. International D5011S для аналогового ввода. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gminternational.com/index.php?pid=D5011S>. – 23.06.2025.

14 GMInternational.com: Барьер искрозащиты аналогового вывода G.M. International D5020S. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gminternational.com/?p=product_details&lang=ru&pid=D5020S. – 23.06.2025.

15 GMInternational.com: Барьер искрозащиты дискретного ввода G.M. International D5034s. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gminternational.com/?p=product_details&lang=ru&pid=D5034S. – 23.06.2025.

16 GMInternational.com: Барьер искрозащиты дискретного вывода G.M. International D5096s. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gminternational.com/?pid=D5096S>. – 23.06.2025.

17 Mall.Industry.Siemens.com: Терминальный модуль ввода аналоговых сигналов Simatic PCS7 6ES7650-1AH62-5XX0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7650-1AH62-5XX0>. – 23.06.2025.

18 Mall.Industry.Siemens.com: Терминальный модуль вывода аналоговых сигналов Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AB61-2XX0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7650-1AB61-2XX0>. – 23.06.2025.

19 Mall.Industry.Siemens.com: Терминальный модуль ввода дискретных сигналов Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AC11-3XX0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7650-1AC11-3XX0>. – 23.06.2025.

20 Mall.Industry.Siemens.com: Терминальный модуль вывода дискретных сигналов Siemens Simatic PCS7 6ES7650-1AD11-2XX0. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7650-1AD11-2XX0>. – 23.06.2025.

21 Rusautomation.ru: Преобразователь частоты AD800P-4T200-PU0PCU0P. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rusautomation.ru/catalog/ad800p_4t200_pu0pcu0p_preobrazovatel_chastoty/

22. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Взамен ГОСТ 12.0.003-74. введ. 2017-03-01. – Пермь : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Изд-во стандартов, 2017– 3 с.

23 ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 09.06.2016 № 602-ст : дата введения 2017-03-01. – Пермь : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Стандартинформ, 2017. – 17 с.

24. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измере-

ний, 1996, – введ. 1997-01-01, – Москва : Минстандарт России ; М. : Изд-во стандартов, 1996 – 20 с.

25 ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : утв. Постановлением Госстандарта СССР от 29.09.1988 № 3387 : дата введения 1989-07-01. – Москва : Издательство стандартов, 1988. – 23 с.

26. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты», 2017, – введ. 2018-01-01, – Москва : Росстандарт, 2017 – 24 с.

27 Федеральный закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ О промышленной безопасности опасных производственных объектов : принят Гос. Думой 20.06.1997 : одобрен Советом Федерации 03.07.1997 : [в ред. от 02.07.2021]. – М. : [б. и.], 2021. – 36 с.

28 ГОСТ Р 56162-2019. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Методы расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 19.12.2019 № 1418-ст : дата введения 2020-07-01. – Москва : Росстандарт, 2019. – 45 с.

29 ГОСТ ISO 15380-2014. Материалы смазочные, масла индустриальные и родственные продукты (класс L). Общие технические требования (ISO 15380:2011, IDT) : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 25.11.2014 № 1847-ст : дата введения 2016-01-01. – Москва : Росстандарт, 2014. – 32 с.

30 ГОСТ 12.2.016-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование компрессорное. Общие требования безопасности : утв. Постановлением Госстандарта СССР от 23.12.1981 № 5740 : дата введения 1983-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1981. – 12 с.

31 СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных

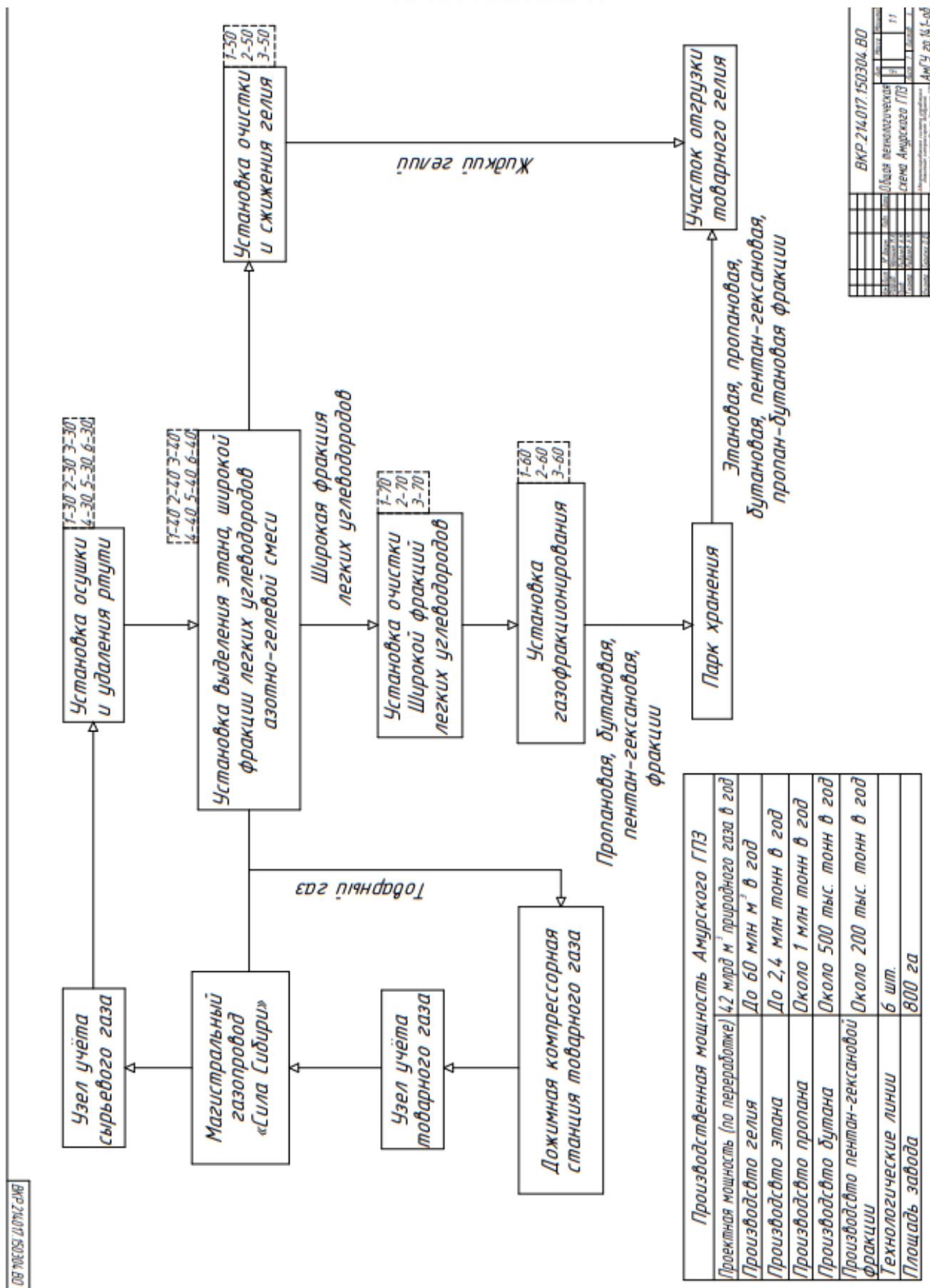
помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий: утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 3 : введены в действие с 01.03.2021. – М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. – 234 с.

32 ГОСТ Р 50571.4.42-2017. Электроустановки низковольтные. Часть 4-42. Защита для обеспечения безопасности. Защита от тепловых воздействий (МЭК 60364-4-42:2010, IDT) : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 28.12.2017 № 2076-ст : дата введения 2019-01-01. – Москва : Росстандарт, 2017. – 28 с.

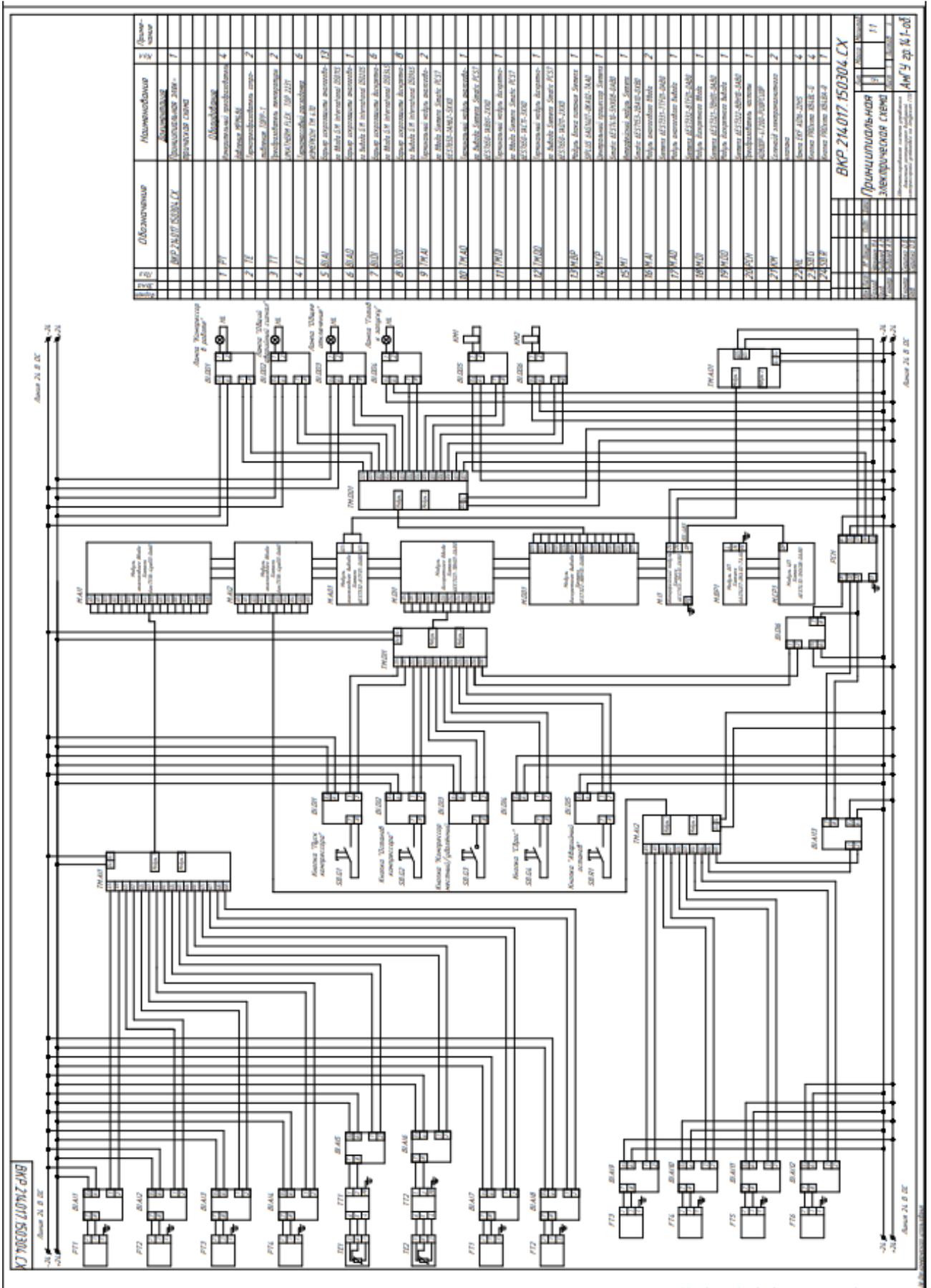
33 ГОСТ 12.4.026-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 10.06.2015 № 600-ст : дата введения 2016-03-01. – Москва : Росстандарт, 2015. – 56 с.

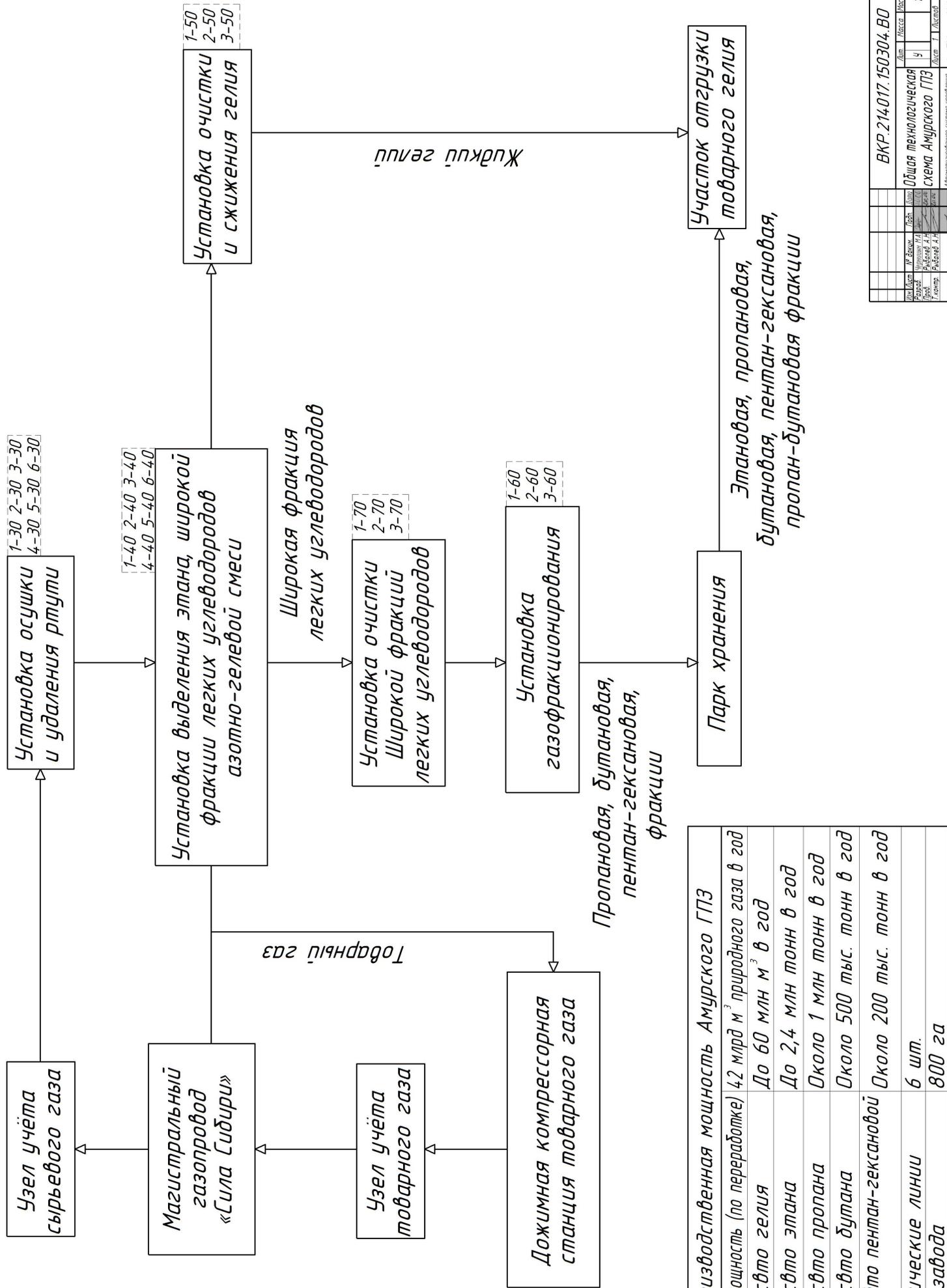
34 СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений: утв. Постановлением Минстроя России от 13.02.1997 № 18-7 : введен в действие 1997-07-01. – М. : Госстрой России, 1997. – 42 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



ПРИЛОЖЕНИЕ Д





ВКР 214.017.150304.В0	Вид	Масштаб
Общая технологическая	У	1:1
СХЕМА Амурского ГПЗ	Лист	1 из 2
Информационная система управления инженерными данными по Амурскому ГПЗ		
АМУС эр. 14.1-01		



Термомассовый расходомер ИЗМЕРКОН ТМ 4.70	
Рабочее давление	4 МПа
Температура процесса	От -4.0 °C до +220 °C
Класс точности	1% от диапазона



Термопреобразователь сопротивления ТОРР-1	
Тип чувствительного элемента	РТ1000
Диапазон измерений температуры	От -200 °C до +600 °C
Рабочее давление	До 10 МПа



Измерительный преобразователь давления МРМ.86	
Класс точности	0,075% от диапазона
Выходной сигнал	4...20 мА, HART
Температура процесса	От -200 °C до +125 °C
Диапазон измерений	До 100 МПа



Преобразователь частоты АД800Р-4Т200-РЦОРСЦОР	
Мощность	200 кВт
Выходная частота	0-590 Гц
Напряжение питания	380 В



Барьеры искрозащиты	
<i>G.M. Integrational D5011S (для аналогового ввода)</i>	
Погрешность передачи данных	0,1%
Время реакции	5 мс.
Выход	4 мА - 20 мА
Вход	4 мА - 20 мА
<i>G.M. Integrational D5020S (для аналогового вывода)</i>	
Погрешность передачи данных	0,1%
Время реакции	25 мс.
Выход	4 мА - 20 мА
Вход	4 мА - 20 мА
<i>G.M. Integrational D5034S (для дискретного ввода)</i>	
Погрешность передачи данных	0,25%
Время реакции	25 мс.
Выход	0,1 мА - 8 мА
Вход	0,1 мА - 8 мА
<i>G.M. Integrational D5096S (для дискретного вывода)</i>	
Погрешность передачи данных	0,1%
Время реакции	25 мс.
Выход	0,1 мА - 8 мА
Вход	0,1 мА - 8 мА



Преобразователь температуры LIMATEM FLEX TOP 2231	
Термопары типов J,K,T,E,N,S,R,B;	
Входной сигнал	RTD Pt100, Pt1000
Точность преобразования	0,1% от диапазона
Выходной сигнал	4...20 мА, HART



Модульный ПЛК Siemens Simatic серии S7-400	
<i>Центральный процессор 6ES7410-5HX08-0AB0</i>	
Тип процессора	CPU 410-5H
Объем рабочей памяти	1,5 МБ
Время выполнения операций	10 нс. для бинарных операций
Количество поддерживаемых модулей	До 21 модуля расширения
Блок питания	6AG1407-0KA02-7AA0
Диапазон входного напряжения	100-240 В АС (47-63 Гц)
КПД	89% (при номинальной нагрузке)
Выходное напряжение	24 В DC (регулируемое 22-28 В)
Модуль аналогового ввода	6ES7331-7TF01-0AB0
Количество каналов	8 шт.
Разрешение	16 бит
Время преобразования	1 мс. на канал
Модуль аналогового вывода	6ES7332-8TF01-0AB0
Количество каналов	8 шт.
Разрешение	16 бит
Время преобразования	1 мс. на канал
Модуль дискретного ввода	6ES7321-7BH01-0AB0
Количество входов	16 шт.
Время переключения	менее 100 мкс.
Время фильтрации	0,1/0,5/3/15 мс. (программируется)
Модуль дискретного вывода	6ES7322-8BH01-0AB0
Количество входов	16 шт.
Время переключения	менее 100 мкс.
Время фильтрации	0,1/0,5/3/15 мс. (программируется)
Интерфейсный модуль	6ES7153-2BA10-0XB0
Тип интерфейса	PROFIBUS DP, RS-485
Скорость передачи	До 12 Мбит/с.
Максимальный ток	650 мА при 24 В DC
Терминальный модуль	Siemens 6ES7650-1AH62-5XX0
Напряжение питания	24 В DC
Диапазон измерений	0 мА - 20 мА, 4 мА - 20 мА
Аналоговые входы	6 шт.

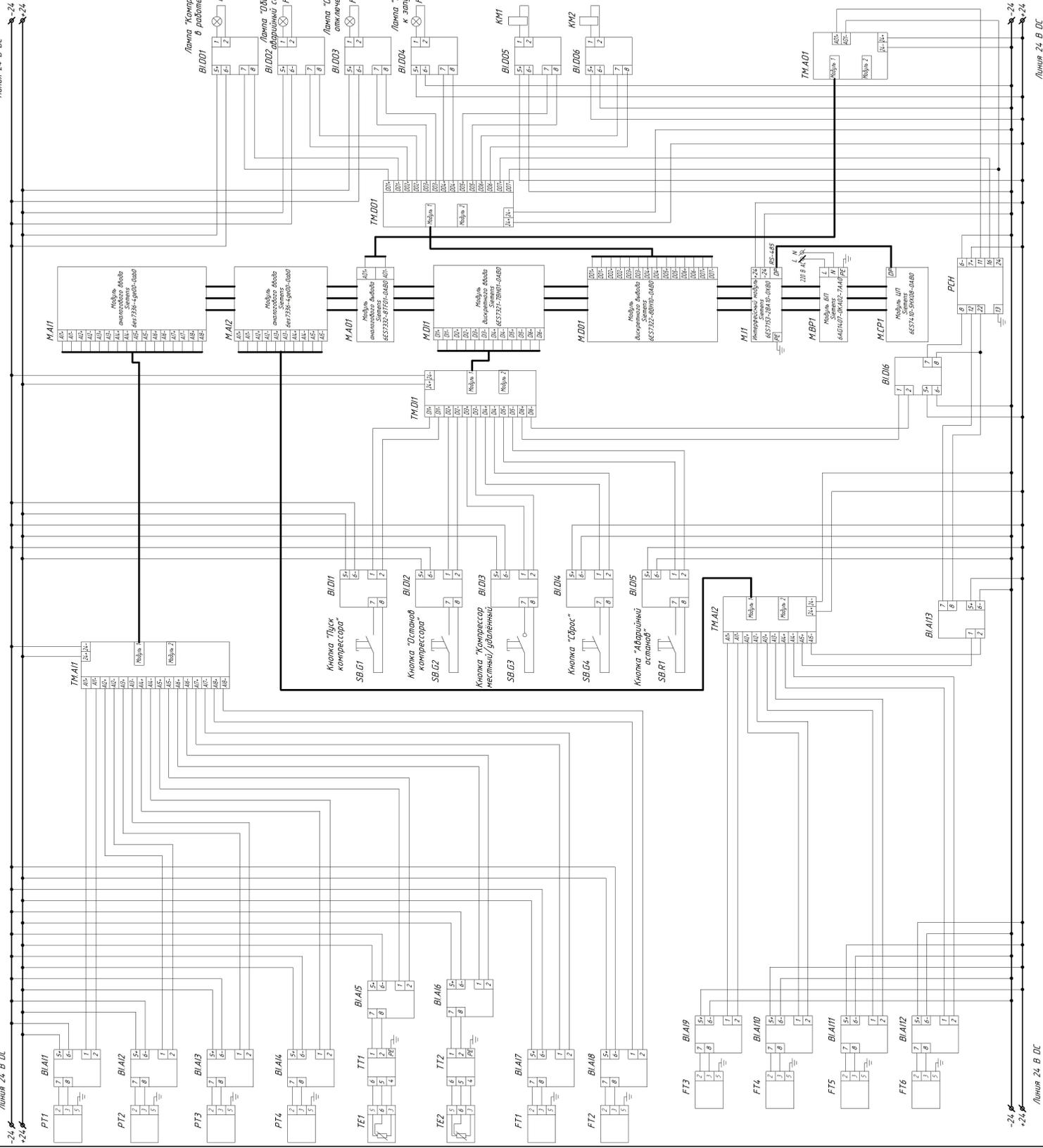
Имя	Лист	М. Давкин	Лист	Масса	Масштаб
Фамилия	у	Чернышев М.А.	у		
Имя	Лист	Руднев А.Н.	Лист	1	11
Фамилия	у	Руднев А.Н.	Лист	1	11
Имя	Лист	Светлова С.В.	Лист	1	11
Фамилия	у	Светлова С.В.	Лист	1	11

ВКР.214.017.150304.В0

Технические средства автоматизации

Алгоритмизированная система управления компрессорной установкой на Android (PLC)

AMГУ 141-0б



Формат	Лист	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
			ВКР 214.017.150304.CX	1	
	1	PT	Обработка	4	
	2	TE	Измерительный преобразователь	2	
	3	TT	Добавления ИРМ,86	2	
	4	FT	Термопреобразователь сопротивления ТОР-1	6	
	5	BIAI	Преобразователь температуры УМТНЕРМ FLEX TOP Z231	13	
	6	BIAO	Термостатический пускатель ИМЕРКОМ ТМ 470	1	
	7	BIDI	Барьер искрозащиты аналоговый ввода G.M. Intertional DS01S	1	
	8	BID0	Барьер искрозащиты аналоговый ввода G.M. Intertional DS01S	6	
	9	TMAI	Барьер искрозащиты дискретный ввода G.M. Intertional DS01S	2	
	10	TMAO	Барьер искрозащиты дискретный ввода G.M. Intertional DS01S	1	
	11	TMDI	Терминальный модуль аналоговый ввода Siemens Simatic PCS7	1	
	12	TMD0	Терминальный модуль аналоговый ввода Siemens Simatic PCS7	1	
	13	MBP	Терминальный модуль дискретный ввода Siemens Simatic PCS7	1	
	14	MCP	Терминальный модуль дискретный ввода Siemens Simatic PCS7	1	
	15	MI	Модуль блока питания Siemens SPULS 6AG4047-3K402-7AA0	1	
	16	MAI	Центральный процессор Siemens Simatic 6ES740-5KH08-0A80	1	
	17	MAO	Интерфейсный модуль Siemens Simatic 6ES7453-2B410-0A80	1	
	18	MDI	Модуль аналогового ввода Siemens 6ES7331-7T010-0A80	1	
	19	MD0	Модуль аналогового ввода Siemens 6ES7331-7B010-0A80	1	
	20	PIH	Модуль дискретного ввода Siemens 6ES7322-6BH01-0A80	1	
	21	KM	Преобразователь частоты АД800P-4T200-P00P10P	2	
	22	HL	Светодиодный индикатор	4	
	23	SB.G	Лампа EKF A016-22WS	4	
	24	SB.R	Кнопка PROXIMA XB4BL-R	1	

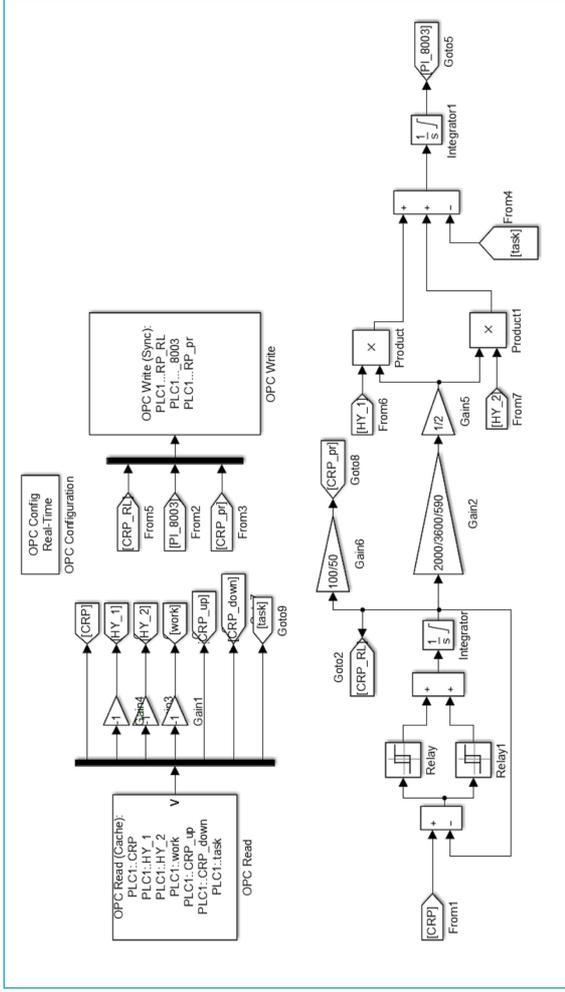
ВКР 214.017.150304.CX	
Лист	Масштаб
1/1	
Лист 5	Листов 5

Принципиальная электрическая схема	
Исполнитель	Проверено
С.С.С.С.	С.С.С.С.
С.С.С.С.	С.С.С.С.
С.С.С.С.	С.С.С.С.

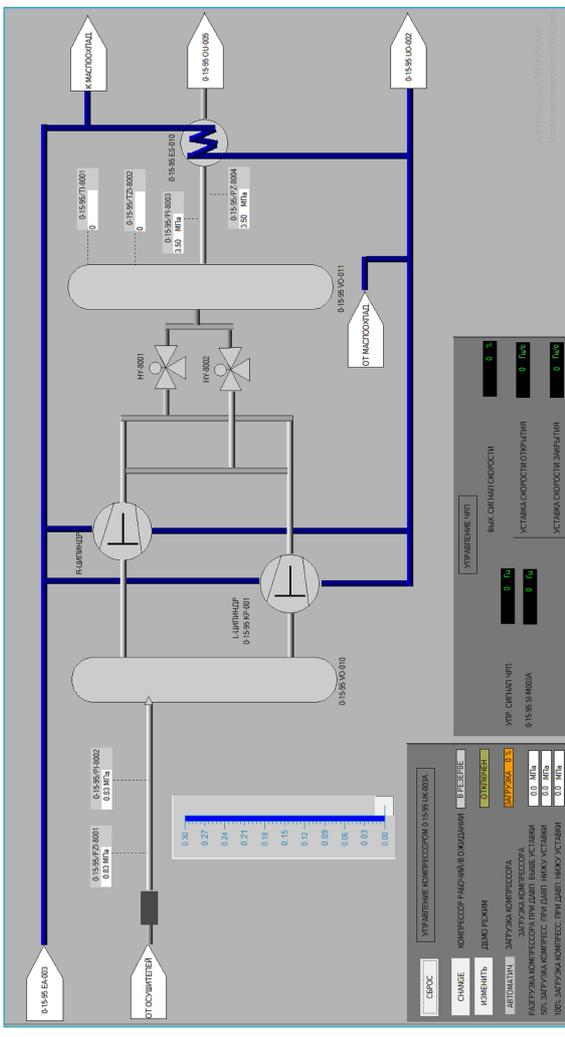
Автоматизированная система управления компрессорной установкой на Android (PLC)

Лист 24 В ДС

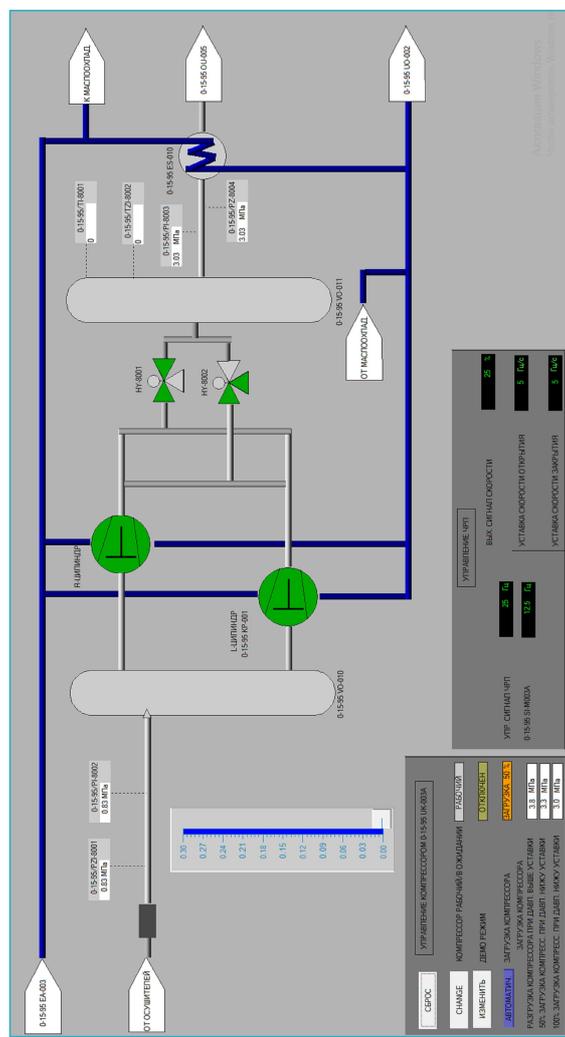
Имитационная модель объекта управления



Выключенный человеко-машинный интерфейс



Активный человеко-машинный интерфейс



Подпрограммы управления

Наименование подпрограммы	Описание
PLC_PRG	Основной цикл
auto	Режим автоматического управления
block	Формирование сигналов пороговых уровней
indicator	Обратная связь с ЧМИ
manual	Режим удаленного управления
R0	Режим разгрузки компрессора
R50	Режим загрузки на 50%
R100	Режим загрузки на 100%
reset	Сброс всех параметров
starting	Запуск компрессора

ВКР.214.017.150304.00		Лист	Масштаб
Имитационная модель и АСУ	Лист	Масштаб	1:1
Документа компрессора	Лист	Масштаб	1:1
Алгоритмическая система управления компрессором установки на Амурском ГЭС			
Исполнитель	Проверено	Утверждено	Дата
М.И.Иванов	С.И.Петров	А.В.Сидоров	15.03.2024
Н.С.Кузнецов	В.П.Смирнов	И.А.Васильев	15.03.2024