

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Факультет машиностроения
Кафедра «Мехатроника и автоматизация»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент

_____ В.Р. Гасияров

_____ 20__ г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ БАКАЛАВРА
ЮУрГУ 15.03.04.2020.575 ПЗ (ВКР)

Модернизация автоматизированной системы управления установкой подготовки импульсного газа

Консультант по экономике
Профессор, д.э.н.

_____ Е.В. Кучина

Руководитель работы
преподаватель

_____ Т.А. Лисовская

Нормоконтролер
Преподаватель

_____ О.А. Гасиярова

Автор работы
студент группы П-455

_____ Д.А. Мурамов
_____ 2020 г.

Консультант по проверке ВКР на
оригинальность
Ст. преподаватель

_____ С.С. Воронин

АННОТАЦИЯ

Мурамов Д.А. Модернизация автоматизированной системы управления установкой подготовки импульсного газа. – Челябинск: ЮУрГУ, П-455; 2020, 70 с., 14 ил., 29 табл., библиогр. список – 17 наим., 8 прил.

Целью данной работы является осуществление улучшенной технологии регенерации адсорбента в установке подготовки импульсного газа на компрессорных станциях газопроводов.

Произведен автоматический переход с рабочих на резервные адсорберы, с последующим проведением регенерации.

Также разработана возможность производства термовакuumной регенерации, что приведет к уменьшению потребляемой мощности и уменьшению потерь, связанных с продувкой оборудования. Годовой экономический эффект 120,8 тыс. руб.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ	9
1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса.....	9
1.2 Описание основного оборудования и алгоритма работы механизма	10
1.3 Цели, задачи и требования к системе автоматизации	12
1.4 Обзор существующих вариантов автоматизации технологического процесса	20
1.5 Разработка упрощенной функциональной схемы системы автоматизации	26
2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	29
2.1 Разработка структуры системы автоматизации	29
2.2 Выбор технических средств автоматизации	30
2.2.1 Датчики и преобразователи сигналов	30
2.2.2 Исполнительные элементы	35
2.2.3 Расчет вакуумной системы.....	37
2.2.4 Электрические элементы системы автоматизации.....	41
2.2.5 ПЛК и панель оператора.....	45
2.3 Разработка схем соединения элементов системы автоматизации	46
2.3.1 Разработка функциональной схемы автоматизации.....	46
2.3.2 Разработка схемы электрической принципиальной	47
2.3.3 Разработка схемы пневматической принципиальной	48

2.4 Разработка алгоритма управления и программного обеспечения систем автоматизации	48
2.5 Разработка системы визуализации управления технологическим процессом	52
3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ	55
3.1 Характеристика предприятия и выпускаемой продукции	55
3.2 Расчет производственной программы.....	57
3.3 Расчет сметы капитальных затрат	57
3.4 Расчет РСЭО до внедрения проектируемых мероприятий.....	59
3.5 Расчет РСЭО после внедрения проектируемых мероприятий	62
3.6 Расчет итоговых показателей.....	65
3.7 Сводная таблица технико-экономических показателей.....	65
3.8 Расчет срока окупаемости проекта.....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	69
ПРИЛОЖЕНИЕ А Принципиальная технологическая схема УПИГ	71
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Упрощенная функциональная схема системы автоматизации	72
ПРИЛОЖЕНИЕ В Вакуумная схема.....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Функциональная схема системы автоматизации.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Схема электрическая принципиальная	78
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Схема пневматическая принципиальная	84
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Алгоритм работы системы.....	88
ПРИЛОЖЕНИЕ И Код программы на языке LAD.....	92

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, специфика эксплуатации запорно-регулирующей арматуры на газокompрессорных станциях требует особенно тщательной очистки от влаги и механических примесей отбираемого из газопровода природного газа, который направляется в приводы с пневматической или пневмогидравлической системой управления запорно-регулирующих устройств.

Связано это с тем, что накапливаемая влага при низких температурах приводит в негодность использования пневматических устройств и уменьшает срок службы оборудования.

В качестве объекта исследования для модернизации системы автоматического управления выбрана установка подготовки импульсного газа (далее УПИГ), которая используется на компрессорных станциях для осушки газа от воды и прочих влажных и механических примесей. Импульсным называется газ, отбираемый из технологических трубопроводов обвязки КС для использования в пневмогидравлических системах приводов запорной арматуры: пневмоприводных кранов технологического, топливного и пускового газов, для подачи газа к контрольно-измерительным и регулирующим приборам.

В качестве предмета исследования изучены основные виды подготовки газа. Термическая и термовакуумная регенерация цеолита и оценены основные преимущества, недостатки и различия одного и другого типа подготовки газа.

Установка подготовки импульсного газа адсорбционного типа предназначена для очистки от механических примесей и удаления паров воды из природного газа перед его использованием потребителем. УПИГ должна обеспечивать непрерывную осушку природного газа, работать в широком диапазоне давлений без потери производительности (пропускной способности) и качества осушки.

Основной целью выпускной квалификационной работы является замена ручной регенерации цеолита в УПИГ на автоматизированную, при своевременном сигнале

о том, что газ на выходе насыщен водными парами и необходима регенерация адсорбента в адсорберах.

В качестве дополнительной цели для выпускной квалификационной работы (далее ВКР) выделяется повышение эффективности осушки.

Для осуществления перехода к автоматизированной регенерации цеолита выполнен ряд задач. Во-первых, в системе происходит отслеживание сигнала с измерителя влажности газов на выходе осушенного газа. Сигналом к началу регенерации служит достижение температуры в минус 50°С. Во-вторых, для должного функционирования учтена работа двигателей вакуумных насосов и циркуляционного насоса теплоносителя. В-третьих, разработан алгоритм работы открытия и закрытия кранов с пневмоприводом и составлена программа для реализации цикловой работы, с возможностью визуализации процесса на НМІ панели оператора. В качестве реализации термовакuumной регенерации рассчитана вакуумная система и подобраны насосы с приводами для её работы.

Для решения данных задач использованы методы построения циклограмм, для составления рабочей программы контроллера системы и метод расчета вакуумных систем используемый в пособии для расчета вакуумной техники и приборов.

В качестве основных источников информации используются «Расчет вакуумных систем» под редакцией А.В. Юрьевой, техническая документация, взятая с Челябинского Линейного Производственного Управления Магистральными Газопроводами и статья о развитии технологий глубокой адсорбционной осушки природного газа в установках подготовки импульсного газа под авторством Ю.Л. Кузнецова.

Предметом защиты ВКР является модернизация существующей системы управления установки подготовки импульсного газа.

С практической точки зрения замена ручной регенерации на автоматическую позволяет экономить на заработной плате сотрудников обслуживающих данную установку. Также сокращаются затраты, связанные с потерями газа при продувке оборудования, уменьшаются выбросы в атмосферу природного газа. С точки зрения

потребляемой мощности, новый вводимый способ регенерации требует гораздо меньших затрат электроэнергии.

В первой главе ВКР произведено описание установки и описание ее основного технологического процесса. Приведено сравнение термического и термовакуумного способа регенерации цеолита. Определены основные цели и задачи к требуемой системе. Также произведен обзор существующих вариантов автоматизации подобных установок по осушке газа от влажных примесей. По итогам полученных данных и разработанных целей составлена упрощенная функциональная схема автоматизации.

В главе по разработке системы автоматизации произведена разработка структуры системы автоматизации, распределение типов и видов сигналов и связь с внешним компьютером (центральным пультом управления). Выбрано основное оборудование: датчики и преобразователи, исполнительные элементы в том числе краны с пневмоприводом и привода для насоса. Также отдельно рассчитана вакуумная система и выполнена разработка схема вакуумной принципиальной. Также построены основные схемы автоматизации такие как: функциональная автоматизации, принципиальная электрическая, принципиальная пневматическая. Составлена циклограмма работы системы и написан код для контроллера, с системой визуализации на панели оператора.

В главе с экономическим обоснованием приведена таблица капитальных затрат на внедряемое оборудование, рассчитаны расходы на эксплуатацию и содержание оборудования до и после внедрения мероприятий по автоматизации и вакуумированию цеолита. Рассчитан срок окупаемости проекта и приведена конечная таблица технико-экономических показателей.

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Характеристика цеха, описание технологического процесса

Установка подготовки импульсного газа (УПИГ) – блочное изделие, с размещением оборудования в едином блок-боксе. Блок-бокс разделен изнутри герметичной несгораемой перегородкой на два отсека: отсек подготовки импульсного газа и отсек управления (операторная).

Отсеки оборудованы обособленными входами снаружи и защищены от доступа посторонних лиц и атмосферных воздействий.

В отсеке подготовки импульсного газа размещаются:

- установка подготовки импульсного газа;
- электрические нагреватели взрывозащищенного исполнения;

В отсеке управления (операторной) размещаются:

- блок подготовки теплоносителя;
- масляный электронагреватель;
- устройство защитного отключения;
- рабочее место оператора.

Технические характеристики установки приведены в таблице 1.

Таблица 1.1. Технические характеристики УПИГ

Характеристика	Значение
Производительность, не менее, м ³ /час	600
Рабочее давление газа на входе/выходе, МПа	7,5
Температура газа на входе, не более, °С	40
Температура точки росы газа на входе, не выше, °С	минус 5
Температура точки росы газа на выходе, не выше, °С	минус 50
Содержание примесей, не более, г/м ³	0,3

Продолжение таблицы 1.1.

Характеристика	Значение
Давление теплоносителя, МПа	0,5
Рабочая температура теплоносителя, не более, °С	350
Переключение кранов (рабочее тело-природный газ)	Пневмопривод
Рабочее давление питания пневмоприводов, МПа	0,7
Температура окружающей среды, °С	от 5 до 40
Напряжение питания	380 В, 50 Гц
Потребляемая мощность в режиме: - осушки, не более, кВт - регенерации, не более, кВт	0,3 10

Технологический процесс заключается в следующем: газ через открытые кран КР1 поступает на фильтр сепаратор и далее через КР3 или КР4 поступает на вход двух из четырех попарно объединенных адсорберов. При прохождении через слой адсорбента сверху вниз из газа адсорбентом поглощаются пары воды. Осушенный газ из адсорберов поступает в фильтр Ф2 и Ф3, где происходит его очистка от пыли адсорбента и механических примесей. После фильтра осушенный и очищенный газ поступает через кран КР5 или КР6 в выходной трубопровод. В случае нештатных ситуаций предусмотрена подача газа потребителю минуя адсорберы и фильтры через байпасный кран КР2 [1]. Принципиальная технологическая схема представлена в приложении А.

1.2 Описание основного оборудования и алгоритма работы механизма

Пневмопривод представляет из себя шаровый кран с пневмоприводом FESTO DRD4. Он состоит из пневмоцилиндров, установленных на кранах, импульсных трубопроводов. Рабочей средой пневмопривода является природный газ, подаваемый с выхода блока осушки.

Газ через открытые краны поступает на вход двух из четырех попарно смонтированных адсорберов. Каждый адсорбер представляет собой два параллельно работающих вертикально установленных фильтра-адсорбера. Рабочий объем каждого фильтра-адсорбера 20 литров.

Фильтр-адсорбер представляет собой отрезок толстостенной трубы Ду150, к которому приварены верхний и нижний фланцы. К нижнему фланцу на шпильках крепится крышка, на которую изнутри смонтирован выходной фильтр, препятствующий выходу из адсорбера цеолитовой пыли.

Фильтр представляет собой перфорированную трубу, на которую намотана фильтрованная металлическая сетка. Фильтр снизу заканчивается штуцером выдачи газа.

В адсорбер засыпан гранулированный цеолит марки NaX или NaA в количестве 13 кг. Цеолит придавлен сверху перфорированной шайбой с нержавеющей сеткой.

К верхнему фланцу на шпильках крепится верхняя крышка, через входной штуцер которого подается газ. Газ, проходя через слой цеолита, очищается от воды, которая адсорбируется цеолитом, имеющим развитую поверхность контакта с газом.

Между крышкой и перфорированной шайбой установлены три пружины сжатия, которые поджимают гранулированный цеолит.

Внутри адсорбера установлен трубчатый теплообменник для нагрева цеолита во время его регенерации. Штуцеры входа и выхода теплоносителя смонтированы в верхней крышке адсорбера.

Для контроля температуры цеолита, сбоку в трубу адсорбера приварен патрубок, в который вворачивается стакан, достигающий до оси трубы. Снаружи в стакан устанавливается датчик температуры.

Снаружи адсорбер защищен теплоизоляцией. В качестве теплоизоляции применяется материал базальтовый теплоизоляционный марки БВТИ-ПИ. Для защиты от механических повреждений, теплоизоляция закрыта кожухом.

Контроль входного давления газа осуществляется по манометру. Проходя с

малой скоростью через слой адсорбента сверху вниз, газ осушается. Осушенный газ из адсорберов поступает в фильтр, где проходит его очистка от механических примесей. После фильтра осушенный и очищенный газ, поступает через кран в выходной трубопровод и через обратный клапан поступает далее к потребителю.

Для стабилизации расхода газа через адсорберы служат дроссельные устройства. Для определения влажности осушенного газа на выходном трубопроводе имеется кран отбора, через который, газ направляется на измеритель влажности. Редуктор перед измерителем влажности, настроенный на 0,2 МПа, позволяют поддерживать постоянное давление на входе в датчик измерителя влажности ИВГ-1 МК-С.

При насыщении цеолита водяными парами (точка росы на выходе выше минус 50°С) проводится его регенерация. Для этого необходимо сбросить избыточное давление из адсорберов и регенерировать их путем нагрева.

Для прогрева адсорберов служит блок подготовки теплоносителя. В сосуде происходит нагрев теплоносителя. В качестве теплоносителя применяется тосол марки 40М. Далее теплоноситель под действием вытеснительного нагнетания, подается в теплообменники адсорберов по резиновым рукавам, откуда он возвращается в ресивер-накопитель. Из ресивера-накопителя, теплоноситель насосом подается обратно в сосуд. Для контроля температуры рядом с нагревательным элементом установлен датчик температуры [2].

1.3 Цели, задачи и требования к системе автоматизации

Переход от основного адсорбера к резервному, по мере насыщения цеолита в адсорбере происходит вручную оператором по сигналу с измерителя влажности и насыщения цеолита. Необходимо заменить ручное (кнопочное) переключение кранов на автоматическое с формированием управляющих сигналов для пневмоприводов по данным с датчиков и измерительных приборов, контроль выполнения команд по фактическому достижению параметров заданных значений

в течении установленного периода времени, в частности, когда газ на выходе из адсорберов становится влажным, температура точки росы поднимается до минус 50°С.

Осуществить схему управления кранами с пневмоприводом с возможностью визуального контроля перестановки кранов по световой индикации из операторской. Разработать мнемосхему с возможностью отображения положения кранов и состояния влажности адсорберов.

Таким образом можно выделить цель автоматизации к данному устройству – это переход от ручного управления переключения кранов к автоматическому.

Также следующей целью можно выделить повышение эффективности осушки за счет включения в процесс регенерации блока вакуумирования адсорберов, которая характеризуется минимальным энергопотреблением и снижением потерь газа при технологических операциях разгрузки трубопроводов и продувках адсорбера в процессе регенерации [3].

Важным вопросом в организации процесса осушки является эффективная регенерация адсорбента, при которой должна в полной мере происходить десорбция поглощенных адсорбентом воды и углеводородов.

Преимущества термовакuumной регенерации, заключаются в следующем:

1. Десорбция компонентов в условиях вакуума происходит при значительно более низких температурах, чем при избыточном или атмосферном давлении, что позволяет сократить время нагрева адсорбера, температуру процесса десорбции и, соответственно, потребляемую мощность.

2. Удаление десорбированных компонентов производится за счет создания в адсорбере вакуума вакуумным насосом, при этом сброс продуктов десорбции осуществляется под атмосферным давлением в дренажную емкость. Такой способ удаления продуктов десорбции позволяет организовать процесс регенерации без расхода газа на продувку адсорберов. Таким образом, сброс газа в атмосферу производится только при разгрузке адсорбера, отработавшего цикл осушки, от рабочего давления перед началом цикла регенерации, что, соответственно,

позволяет реализовать технологический процесс с минимальными потерями газа.

3. Испытания также показали, что охлаждение адсорбера при поддержании вакуума происходит быстрее, что позволяет сократить время на регенерацию.

Температуры различных видов осушки представлены на рисунке 1.1, где 1 – термическая, 2 – термовакуумная регенерация. График зависимости потребляемой мощности при различных способах регенерации представлен на рисунке 1.2 [4].

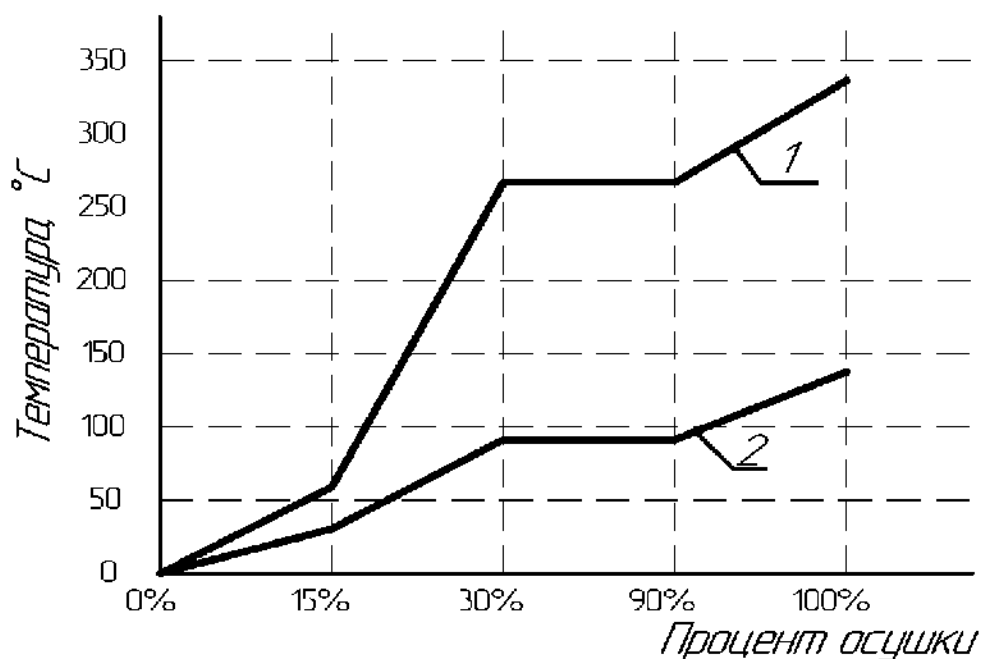


Рисунок 1.1. Процент осушки цеолита в зависимости от температуры при различных способах регенерации

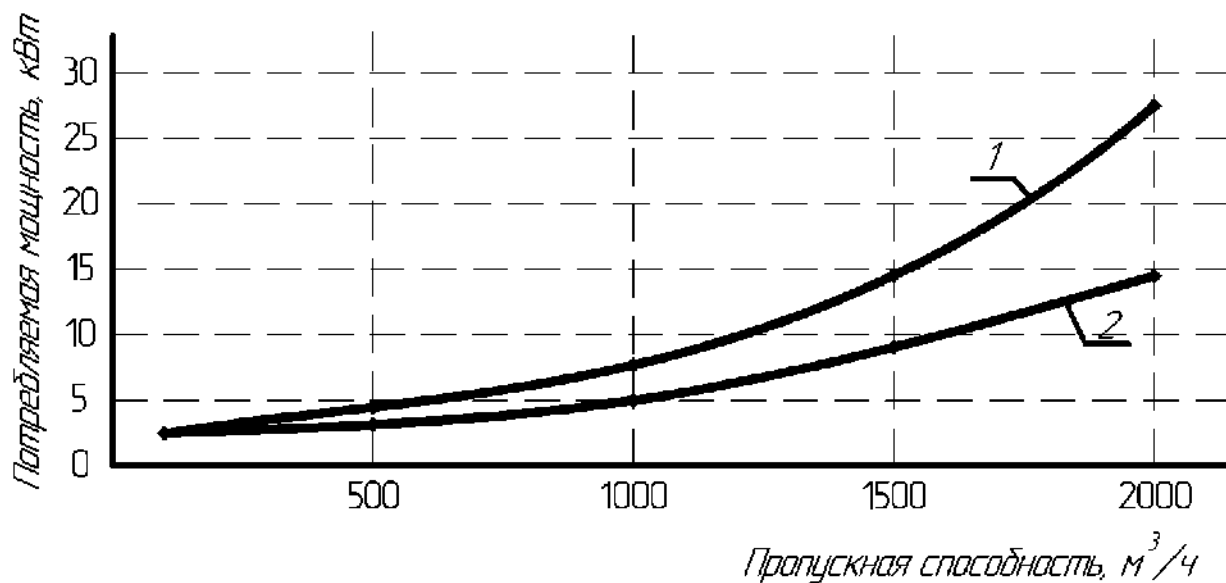


Рисунок 1.2. Потребляемая мощность УПИГ в зависимости от пропускной способности при различных способах регенерации

В настоящее время вакуумные насосы пластинчатого типа стали одним из основных средств автоматизации рабочих процессов в промышленности, что объясняется рядом конструктивных преимуществ по сравнению с другими видами приводов. В сравнении с шестеренными насосами они обеспечивают более равномерную подачу, а в сравнении с поршневыми гораздо проще по конструктивному исполнению, дешевле, менее требовательны к фильтрации рабочей жидкости и обладают лучшими массогабаритными параметрами.

И так можно сделать вывод о том, что для повышения эффективности необходимо установить блок вакуумирования для удаления паров воды из адсорберов во время проведения их регенерации. Блок вакуумирования будет состоять из вакуумного насоса пластинчатого типа, на входе которого будет установлен влагоуловитель. На выходе насоса устанавливается влагоотделитель и водонакопитель. Для увеличения периода между сменой масла в насосе устанавливается дополнительный масляный бачок. Слив масла из насоса осуществляется через сливной кран [5].

Таким образом основные цели автоматизации заключаются в следующем:

- осуществить возможность переключения между основными и резервными адсорберами в автоматическом режиме, с возможностью визуализации процесса по световой индикации и мнемосхеме с панели оператора;
- осуществить регенерацию цеолитов с применением вакуумного насоса и одновременным нагревом теплоносителя. То есть, установкой блока вакуумирования в систему с возможностью управления и отслеживания параметров насоса с панели оператора.

Для выполнения этих целей необходимо решить ряд поставленных задач.

Для автоматического переключения между адсорберами необходимо отслеживать данные о насыщении цеолита водяными парами (температура на выходе не выше минус 50°C). Сигналом к началу регенерации является показание от измерителя влажности газов равное минус 50°C.

Также необходимо учитывать включение и выключение циркуляционного насоса теплоносителя и вакуумного насоса, для термовакuumной регенерации.

Необходимо составить алгоритм и программу работы пневмоприводов через контроллер, с возможностью отображения положения кранов и состояний параметров системы, таких как: давление теплоносителя, давления газа для пневмоуправления, температура цеолитов в адсорберах, давление газа на входе и выходе с установки и другие параметры.

Для должного функционирования и обработки сигналов с блока вакуумирования необходимо установка вакуумметра. Также необходим рассчитать необходимое рабочее давление вакуумной системы для выбора двигателя и дальнейшего выбора его управления.

На вход насоса следует установить влагоуловитель, для того, чтоб избежать попадание паров воды в рабочие органы насоса. На выходе насоса устанавливается водоотделитель и водонакопитель, для своевременного удаления паров воды из вакуумной системы.

Для открытия и закрытия кранов сигналами системы автоматического управления необходим пневмопривод, рабочей средой которого является газ, подаваемый с выхода блока осушки.

Формирование управляющих сигналов должно осуществляться согласно сигналам датчиков и измерительных приборов. Контроль выполнения управляющего воздействия - по фактическому достижению параметрами заданных значений в течении установленного периода времени.

Также в системе управления должен быть предусмотрен режим автоматического аварийного отключения. Аварийное отключение также должно иметь возможность выполняться в ручном режиме с панели оператора в любом месте выполнения основного алгоритма работы программы. В течении всего времени работы установки системой управления должны отслеживаться основные аварийные и основные технологические параметры установки.

При достижении аварийных ситуаций, на панели оператора должно быть предусмотрено отображение сигнализации по достижению критических технологических параметров.

Алгоритмы работы по режимам представлены на рисунках 1.3 – 1.7.



Рисунок 1.3. Режим начального пуска



Рисунок 1.4. Режим 1

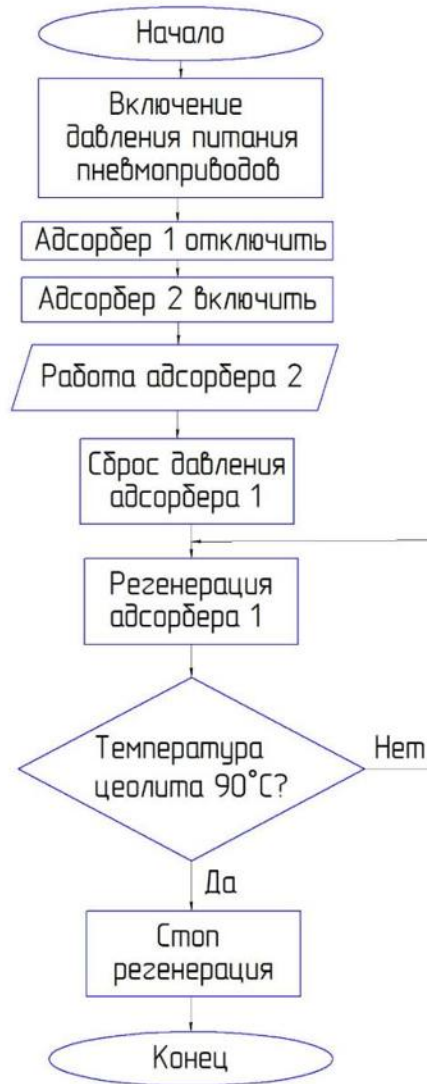


Рисунок 1.5. Режим 2



Рисунок 1.6. Режим 3

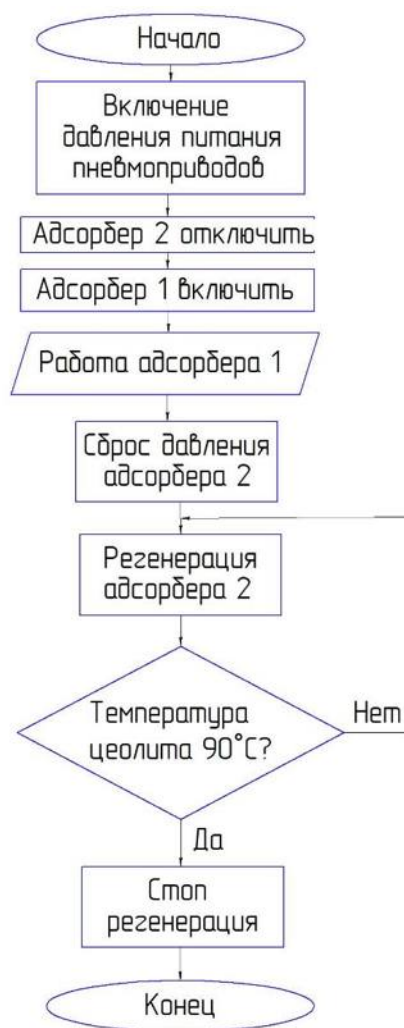


Рисунок 1.7. Режим 4

Алгоритмы работы по режимам работы установки можно изобразить в виде единого алгоритма работы системы, которая переходит из одного режима в другой при достижении определенных параметров. Алгоритм работы установки представлен на рисунке 1.8.

При режиме начального пуска все исполнительные элементы выключены, краны закрыты. При нажатии на кнопку старт, газ начинает проходить через пару адсорберов и в процессе их работы адсорбент насыщается, соответственно, алгоритм работы заключается в опрашивании сигнала с измерителя влажности газов. Как только адсорбент оказывается насыщен, то происходит переход на следующий режим.

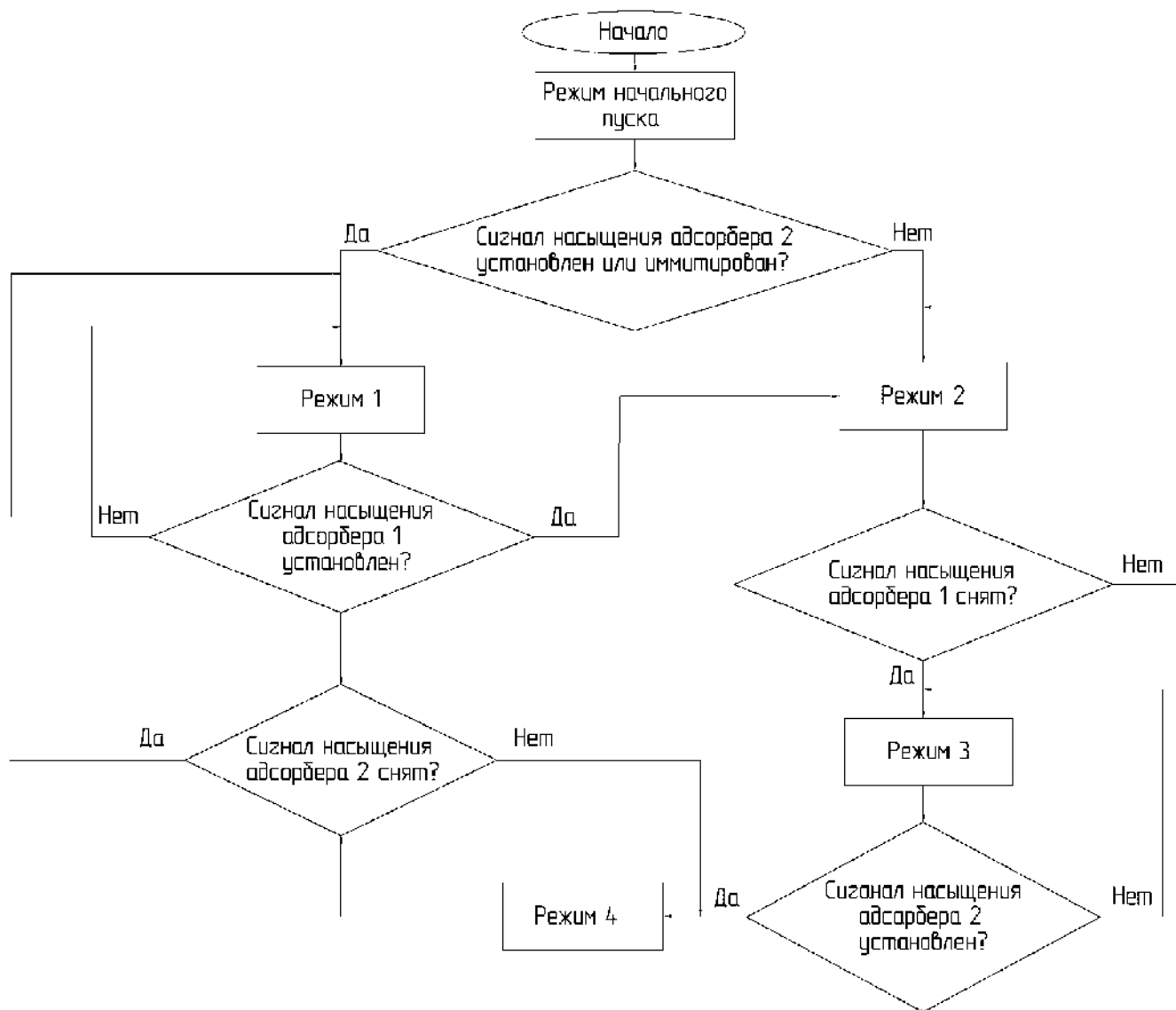


Рисунок 1.8. Автоматический режим работы установки

1.4 Обзор существующих вариантов автоматизации технологического процесса

Специфика эксплуатации запорно - регулирующей арматуры на газокompрессорных станциях требует особенно тщательной очистки от влаги и механических примесей отбираемого из газопровода природного газа, который направляется в приводы с пневматической или пневмогидравлической системой управления запорно-регулирующих устройств [6].

Известна система подачи природного газа в газопровод, используемая в установках подготовки импульсного газа и включающая установленный на

газопроводе запорный вентиль с приводом, контрольное устройство, выполненное в виде дифференциального напорного вентиля, одна сторона которого связана трубопроводом с газопроводом со стороны меньшего давления, другая – трубопроводом, содержащим дроссель и расположенный между ним и дифференциальным напорным вентилем накопитель давления, с газопроводом со стороны большего давления, и связанные с приводом запорного вентиля и газопроводом управляемые клапаны, при этом дифференциальный напорный вентиль выполнен в виде золотникового клапана, золотник которого через переключающий клапан и трубопровод рабочего давления связан с газопроводом и управляемыми клапанами, состоящими из двух двухпозиционных клапанных элементов, один из которых снабжен распределительным вентилем, установленным в патрубке между ним и местом забора газа из трубопровода рабочего давления и сообщаемым с дифференциальным напорным вентилем, а второй – двухходовым клапаном, один вход которого соединен с дифференциальным напорным вентилем, другой посредством патрубка – с трубопроводом рабочего давления, а выход – со вторым двухпозиционным клапанным элементом, при этом в упомянутых патрубках установлены электромагнитные вентили.

К недостаткам известной системы относится ее конструктивная сложность и низкая надежность при эксплуатации.

Известна установка осушки газа GEMOC, используемая на газоперекачивающих компрессорных станциях газопровода Уренгой – Ужгород и содержащая два адсорбера, регенерируемых посредством внутренних электрических нагревательных элементов, два предфильтра для удаления пылевидных и жидких примесей, два угольных фильтра, два контрольных фильтра, установленных после адсорберов, систему предохранительных клапанов, индикаторы давления, температуры, влажности и систему присоединительных трубопроводов, при этом установка на входе подсоединена к трубопроводу природного газа, а на выходе – к трубопроводам подачи осушенного и очищенного

природного газа к его потребителям.

К недостаткам известной установки относится повышенный расход сорбента, необходимого для нормальной работы адсорберов, повышенный расход газа для продувки адсорберов, а также большой расход потребляемой при регенерации адсорберов электроэнергии.

Известна установка подготовки импульсного газа для пневмосистем запорно-регулирующих устройств магистральных газопроводов, включающая подключенную к транспортному газопроводу природного газа систему осушки и очистки газа, систему электрооборудования и систему трубопроводов. Вход и выход установки соединены между собой напрямую дополнительным трубопроводом с установленными на нем последовательно по ходу газа двумя запорными кранами, невозвратным клапаном и расположенным между запорными кранами мембранным разрывным устройством, параллельно которому к дополнительному трубопроводу подключена байпасная труба с установленным на ней запорным краном и невозвратным клапаном. Система осушки и очистки газа установки содержит последовательно подключенные по ходу газа водомаслоотделитель, промежуточный фильтр, запорные электроприводные клапаны, два поочередно регенерируемых адсорбера, имеющих наружный обогрев посредством размещенных по наружному контуру баллона адсорбера электрических нагревателей и подключенных линией регенерации на выходе установки к дополнительному трубопроводу после невозвратного клапана, и концевой фильтр. Вход водомаслоотделителя соединен с дополнительным трубопроводом на входе установки, выход концевой фильтра соединен на выходе установки с дополнительным трубопроводом перед невозвратным клапаном, а водомаслоотделитель и промежуточный фильтр дополнительно сообщены с дренажной линией системы осушки и очистки газа.

К недостаткам известной установки относится повышенный расход газа для продувки адсорберов, а также повышенный расход потребляемой электроэнергии на привод запорных клапанов с электроприводом.

Известна установка подготовки импульсного газа для пневмосистем запорно-регулирующих устройств магистральных газопроводов, включающая подключенный к транспортному газопроводу природного газа блок осушки и очистки газа, систему электрооборудования, систему трубопроводов и систему автоматического управления, при этом вход и выход установки соединены между собой напрямую трубопроводом с установленным на нем невозвратным клапаном, а блок осушки и очистки газа содержит последовательно подключенные по ходу газа водомаслоотделитель - фильтр, соединенный с продувочной емкостью через накопительную емкость и пневмоуправляемый клапан, запорные электроприводные клапаны, два параллельно подключенных последовательно регенерируемых адсорбера, соединенных с продувочной емкостью через установленные на входе адсорберов запорные пневмоприводные клапаны, концевой фильтр и систему разгрузки, включающую трубопровод с установленными на нем запорным клапаном и дроссельной шайбой, соединяющий концевой фильтр и продувочную емкость.

Управление вакуумным может быть автоматизировано с помощью микрокомпьютера, который к тому же может быть запрограммирован на блокирование возникающих отказов или повреждений элементов системы. Кроме того, компьютер может быть использован для автоматизации процессов, протекающих в рабочей камере.

Использование таких автоматизированных систем управления наиболее целесообразно в крупных высоковакуумных установках, агрегаты которых снабжены различного типа исполнительными механизмами. Так, большинство выпускаемых серийно крупных вакуумных установок, например, для вакуумного напыления металлов (ионного травления), а также течеискатели снабжены автоматизированными системами откачки и измерения.

Автоматизация сверхвысоковакуумных установок представляет собой более сложную задачу. Цельнометаллические прогреваемые сверхвысоковакуумные клапаны, как правило, имеют ручной механизм привода. Иногда применяются

гидравлический или электромеханический приводы, которые, однако, не допускают прогрева. Фирма VAT изготавливает цельнометаллические клапаны с пневматическим приводом, которые (вместе с исполнительным механизмом) могут быть прогреты до 450°C, однако этот привод довольно громоздок (120 см³ для клапана с D = 16 мм), и, кроме того, стоимость такого устройства значительно превосходит стоимость клапана, открываемого вручную.

Могут возникать трудности и при необходимости автоматизировать операции заливки и (или) слива из сосуда Дьюара жидкого азота, например, когда в системе используются сорбционные насосы или охлаждаемые ловушки. Конструкция соответствующих устройств достаточно сложна и обычно базируется на применении криогенератора. Следует, однако, отметить, что для сверхвысоковакуумных систем, в которых использование таких устройств необходимо, значительные затраты на автоматизацию полностью оправданы. В отношении автоматизации интерес представляют системы, предназначенные для работы в условиях верхней границы диапазона сверхвысокого вакуума, т. е. при давлениях около 10⁻⁶ Па.

Автоматизация таких систем в настоящее время значительно упрощена благодаря разработанным специальным программируемым устройствам задания последовательности операций. Хотя эти устройства первоначально были сконструированы для промышленных целей, они могут быть легко приспособлены для управления вакуумной системой. Программируемые контроллеры такого рода снабжены системой входов, к которым подсоединяются различные датчики. Поступающие сигналы обрабатываются микрокомпьютером, в который закладываются программы для выполнения различных совокупностей операций. Управляющие сигналы на выходе приводят в действие (включают и выключают) соответствующие реле и электронные преобразователи.

В качестве примера такого контроллера можно привести устройство ISCOS 20, выпускаемое фирмой Philips и предназначенное для управления машинами и механизмами, рассчитанными на пооперационное управление. Это устройство

представляет собой многомодульную систему, построенную на печатных платах стандарта Eurocard. Соответствующая программа хранится в энергозависимом СППЗУ (стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство), которое отделено от центрального процессора. Поскольку программирование СППЗУ должно осуществляться в несколько этапов, его содержимое не может измениться из-за каких-либо случайностей.

Центральный процессор способен обслуживать максимально 256 линий ввода - вывода (ВВ) и выполнять 2045 команд. Однако на каждой плате ВВ содержится только 16 входных - выходных контактов, и поэтому для полной реализации возможностей системы потребуется несколько плат ВВ. Для большинства вакуумных систем, по всей вероятности, достаточно одной такой платы. В качестве входных датчиков могут быть использованы вакуумметры, спектрометры и, возможно, расходомеры. Выходные линии могут подключаться к блокам питания насосов, блокам управления вакуумметров, приводам клапанов и регуляторам нагревательных элементов.

Типичная программа состоит из следующих операций. Вначале клапаны приводятся в соответствующее «стартовое» положение и включается форвакуумный насос. После достижения определенного уровня давления включается основной насос и клапаны приводятся в нужные положения. Если в качестве основного используется диффузионный насос, то сначала должно быть удостоверено наличие в нем охлаждающей воды. Затем после достижения соответствующего давления может быть приведена в действие печь и осуществлен прогрев системы. Последующей операцией может быть прогрев вакуумметров. Время нагрева системы может задаваться заранее или определяться в зависимости от величины давления в системе. После прогрева печь должна быть отключена, охлаждена и удалена. Если расчетное разрежение не достигнуто, то в соответствии с программой могут быть проведены операции по проверке системы на герметичность путем измерения давления в отсоединенной рабочей камере в течение некоторого промежутка времени.

При достижении расчетного давления блок управления может быть в дальнейшем использован для контроля рабочих процессов, например, процесса напыления или ионной имплантации, либо переведен в режим непрерывного контроля системы, например, путем накопления информации о всех процессах и условиях, а также слежения за ситуацией и блокирования нежелательных отклонений.

Основное преимущество автоматизированной вакуумной системы состоит в исключении необходимости постоянного дежурства оператора у установки, а также в возможности осуществления управления оператором без специальной подготовки. Даже если контроль ведет опытный специалист, использование автоматики позволяет снизить вероятность возникновения случайных ошибок, связанных с человеческим фактором. Особый интерес представляет использование автоматизированных вакуумных установок в технологических процессах, что позволяет лучше контролировать технологические параметры, существенно повысить производительность [7].

1.5 Разработка упрощенной функциональной схемы системы автоматизации

Сформулированные цели и задачи позволяют составить упрощенную функциональную схему автоматизации. Схема представлена в приложении Б. На схеме к основным обозначениям относятся: В – вакуумметр, УД – устройство дроссельное, НВ – насос вакуумный, НЦ – циркуляционный насос, Нагр. – нагревательный элемент.

Система управления имеет следующий алгоритм работы. В режиме начального пуска (при запуске установки после простаивания, при вводе в эксплуатацию) все управляемые краны в закрытом состоянии, электрокотел (Нагр.) отключен, насос циркуляции теплоносителя (НЦ) отключен, насос вакуумный (НВ) отключен. Если сигнал насыщения цеолита в адсорбере 2 (S_2) установлен или имитирован, то есть в контроллер передается значение того, что адсорбер 2 насыщен или искусственно

имитирован, то осуществляется переход в режим 1, иначе, если сигнал о том, что насыщение цеолита в адсорбере 1 установлен или имитирован, то переход к режиму два в контроллер при этом передается команда о том, что адсорбер 1 насыщен (S_1).

В режиме 1 адсорбер 2 готов к осушению, а адсорбер 1 осушает газ. Как только сигнал о том, что цеолит в адсорбере 1 насыщен S_1 осуществляется переход к режиму 2, иначе продолжается в работа в режиме 1.

В режиме 2 установлен сигнал S_1 , а сигнал температуры в адсорбере №2 ($T_{ад2}$) не установлен. Далее следует команда о включении давления питания пневмоприводов. Адсорбер 1 отключается, а адсорбер 2 включается и выдается сообщение на панели оператора о том, что адсорбер 2 в работе. Путем переключения кранов с пневмоприводом давление в адсорбере 1 сбрасывается. Если давление не снизилось до необходимых 0,05 МПа, то в контроллер выдается сообщение о том, что давление адсорбера 1 не установлено ($P_{ад1}$). Как только давление в адсорбере 1 установится до необходимого контроллер выдает команду пуска регенерации. Для этого он запускает насос и нагреватель из блока подготовки теплоносителя и включает вакуумный насос (НВ). Если давление теплоносителя в системе нагрева более 0,5 МПа, то необходимо остановить регенерацию и выдать сообщение на панели оператора о том, что давление нагревателя более 0,5 МПа ($P_{нагр}$). Если давление в вакуумной системе станет более минус 0,01 МПа, то выдается сообщение о том, что произошло разряжение в вакуумной системе. Как только сигнал температуры адсорбера 1 ($T_{ад1}$) установится, то есть температура достигнет 95°C, устанавливается команда остановки регенерации, при этом выключается циркуляционный насос, нагреватель и вакуумный насос (НВ) и следует команда отключения давления питания пневмоприводов. Если сигналы S_1 и $T_{ад1}$ не установлены, то выдается сообщение о готовности адсорбера 1 и система переходит к третьему режиму.

В режиме 3 Адсорбер 1 готов к осушению, адсорбер 2 осушает газ. Как только установится сигнал о том, что адсорбер 2 насыщен S_2 , осуществляется

переход к режиму 4.

В четвертом режиме установлен сигнал S_2 , а сигнал температуры в адсорбере 1 не установлен ($T_{ад1}$). Следует команда включения давления питания пневмоуправления и затем путем переключения кранов с пневмоприводами адсорбер 2 отключается, а адсорбер 1 включается и выдается сообщение на панели оператора «Работа адсорбера 1». Далее следует команда сброса давления из адсорбера 2, если сигнал о давлении газа в адсорбере 2 не установлен, то выдается сообщение о том, что давление газа в адсорбере 2 ($P_{ад2}$) больше 0,05 МПа. Как только сигнал устанавливается, начинается регенерация, контроллер запускает нагреватель, циркуляционный насос и вакуумный насос и выдается сообщение «Регенерация адсорбера 2». Если устанавливается сигнал $P_{нагр}$, то осуществляется команда «стоп регенерации» и выдается сообщение о том, что давление теплоносителя в системе нагрева больше 0,5 МПа. Если устанавливается сигнал о том, что в вакуумной системе произошло разряжение, то выдается сообщение на панели оператора о том, что давление вакуума больше минус 0,01 МПа.

Как только устанавливается сигнал о том, что температура адсорбера 2 достигла нужной величины ($T_{ад2}$), то выполняется команда остановки регенерации, затем отключается давление питания пневмоприводов и если не установлены сигналы S_2 и $T_{ад2}$, то выдается сообщение о готовности адсорбера 2. Затем переход к режиму 1. И далее алгоритм повторяется циклически.

При этом на панели оператора непрерывно должны быть отображены данные о точки росы газа на выходе, давление на входе и выходе с установки, данные о текущей температуре и давлении теплоносителя, данные об уровнях теплоносителя (масла) в системе. Также должны выводиться ошибки о работе насосов и двигателей исполнительных механизмов.

На составленной, исходя из описанного алгоритма работы системы, схеме автоматизации приняты следующие обозначения физических величин: t – температура в градусах Цельсия, P – давление в МПа, h – объем жидкости в литрах.

2 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

2.1 Разработка структуры системы автоматизации

Для данной установки будет разработан дискретный способ автоматического управления процессом. Задействованы три уровня автоматизации такие как полевой (датчики и исполнительные механизмы), сбор данных и непосредственное управление (контроллер) и диспетчерская система сбора и управления технологическим процессом (автоматизированное рабочее место оператора, расположенное на центральном пульте управления).

Для построения структуры системы автоматизации необходимо осуществить функциональную декомпозицию, то есть разделение на части сходных по функциям элементов и завести в контроллер сигналы [8].

Нижний полевой уровень в данной структуре будет состоять из датчиков давления, температуры, измерителя вакуума в блоке вакуумирования и измерителя влажности газов на выходе. К дискретным датчикам относятся датчики измерения вакуума, датчики давления в адсорберах и датчик давления теплоносителя. К аналоговым сигналам будут относиться датчики измерения следующих величин: температуры в адсорберах, давления на входе и выходе с установки, уровнемер бака с теплоносителем и температуры теплоносителя и измеритель влажности газов на выходе установки.

Исполнительными механизмами в данной системе являются краны с пневмоприводом и контакторы двигателей вакуумных насосов и насоса теплообменника.

Второй уровень или уровень сбора данных и управления представлен контроллером. Все входные сигналы будут обрабатываться контроллером, и формировать выходные сигналы на исполнительные механизмы. Также по протоколу Profibus интерфейсу RS-484, будут передаваться данные о состоянии системы на панель оператора. Данные до центрального пульта управления

передаются по сети Industrial Ethernet. Структура представлена на рисунке 2.1.

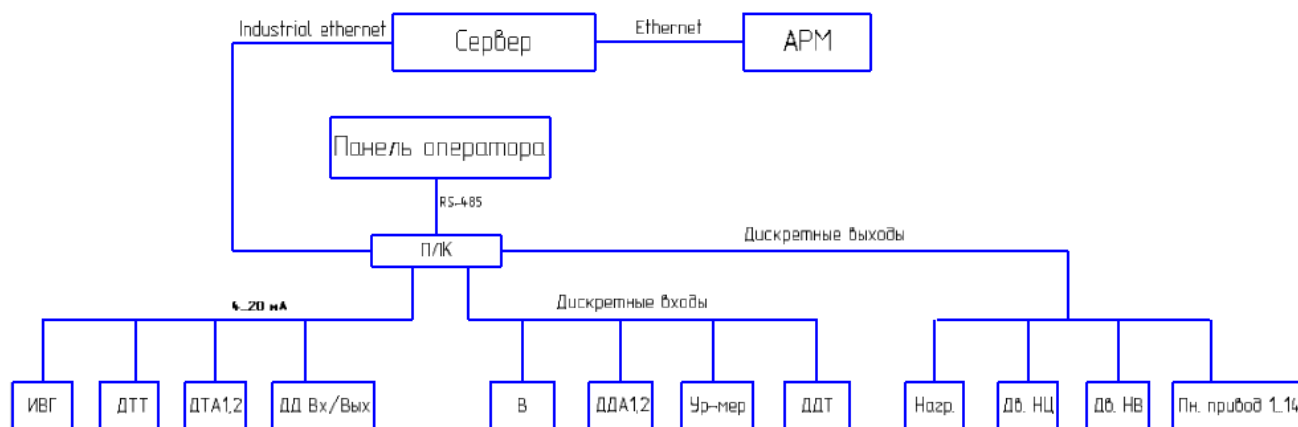


Рисунок 2.1. Структура системы автоматизации

На рисунке к основным обозначениям относятся: ИВГ – измеритель влажности газов, ДТТ – датчик температуры теплоносителя, ДТА1,2 – датчики температуры первого и второго адсорбера, ДД Вх/Вых – датчик входного и выходного давления, Ур-мер – уровнемер теплообменника в баке, В – вакуумметр в блоке вакуумирования, ДДА1,2 – датчик давления адсорбера первого и второго, ДУ – датчик давления управления пневмоприводом, ДДТ – датчик давления теплоносителя.

Исполнительными элементами являются: Нагр. – нагреватель теплоносителя, Дв. НЦ – двигатель циркуляционного насоса, Дв. НВ – двигатели вакуумных насосов, Пн.привод 1...14 – краны и вентили с пневмоприводом, ПЛК – программируемый логический контроллер, АРМ – автоматизированное рабочее место оператора (центральный пульт управления).

2.2 Выбор технических средств автоматизации

2.2.1 Датчики и преобразователи сигналов

Для показаний входного и выходного давления необходим аналоговый датчик с рабочим диапазоном давлений от 0 до 10 МПа для отслеживания контроллером как поступающего из газопровода давления газа, так и выходного давления газа.

Крайним значением, сигнализирующим о пониженном входном сигнале, служит давление в 3 МПа, а повышенное давление соответствует давлению более 7,5 МПа.

Для контроля этих параметров может быть использован датчик, со встроенным преобразователем сигналов PT5402 фирмы IFM Electronic. Технические характеристики датчика представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Технические характеристики датчика PT5402

Параметр	Значение
Электрическое исполнение	DC
Рабочее напряжение, В	3,8...36
Температура измеряемой среды, °С	минус 40...90
Аналоговый выход, мА	4...20
Диапазон измерения, МПа	0...10

Для показания давления в адсорберах установки должно обеспечиваться показание давления до 10 МПа и коммутировать сигналы для входа в ПЛК по достижению минимального допустимого значения 0,05 МПа. Для этих целей могут быть использованы датчики давления и электроконтактные манометры. Датчики давления дороже простых электроконтактных манометров. Так как в системе нужно лишь оценивать достижение давления, определенного уровня, то для данной установки выбран электроконтактный манометр ДМ2010 второго исполнения с одним замыкающим контактом. Схема работы датчика представлена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2. Схема срабатывания датчика ДМ2010

Таблица 2.2. Характеристики электроконтактного манометра ДМ2010

Параметр	Значение
Контакты	С магнитным поджатием
Пределы измерений, МПа	0...10
Значение коммутируемого тока, А	0,001...0,1
Напряжение внешних цепей, В	24
Температура окружающей среды, °С	минус 50...60

Для сигнализации давления теплоносителя также используется электроконтактный манометр второго исполнения со значениями давления до 1,6 МПа. Для этих целей используется электроконтактный манометр ДМ2010 СГ. Давление теплоносителя не должно превышать в блоке подготовки теплоносителя не должно превышать расчетного давления теплопровода, которое составляет 0,5 МПа. По срабатыванию данного датчика, в системе оповещений панели оператора должна появиться информация о том, что превышено давление в блоке подготовки теплоносителя и отключать нагреватель теплоносителя.

Характеристики манометра представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Характеристики электроконтактного манометра ДМ2010 СГ

Параметр	Значение
Контакты	С магнитным поджатием
Пределы измерений, МПа	0...1,6
Значения коммутируемого тока, А	0,001...0,1
Напряжение внешних цепей, В	24
Температура окружающей среды, °С	минус 50...60

Также необходимо учитывать сигналы вакуума с блока вакуумирования. При достижении разряжения вакуума более минус 0,01 МПа необходимо посылать сигнал о том, что в блоке вакуумирования произошло разряжение. При достижении давления в 5 Па подается сигнал о включении диффузионного насоса. Для этих целей используется электроконтактный мановакууметр ДВ 2005ф. Характеристики

вакуумметра представлены в виде таблицы 2.4.

Таблица 2.4. Характеристики вакуумметра ДВ 2005ф

Параметр	Значение
Измеряемое давление, МПа	Минус 1...5
Контакты	С магнитным поджатием
Значения коммутируемого тока, А	0,001...0,1
Напряжение внешних цепей, В	24

Для измерения температуры в адсорберах датчик должен измерять температуру в пределах от 0 до 100°C. При достижении температуры адсорбера в 65 градусов включается предварительный пластинчато-роторный насос, который создает давление в системе 5 Па, затем по достижении температуры адсорбера происходит выключение всех исполнительных элементов и ожидание следующего цикла работы по сигналу с измерителя влажности газов. Для измерения температуры будет использоваться датчик температуры TS100. Технические характеристики которого представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. Характеристики датчика температуры TS100

Параметр	Значение
Пределы измеряемых значений, °C	Минус 50...100
Выходной сигнал, мА	4...20
Напряжение питания, В	9...30
Электрическое исполнение	DC
Рабочая температура, °C	Минус 25...100

Для измерения точки росы на выходе установки необходим прибор с возможностью измерения минус 50°C. Для этих целей используется измеритель влажности газов ИВГ-1 МК-С. К нему необходимо подключить первичный преобразователь точки росы. Необходимо точно отслеживать значение точки росы, поэтому соединение с контроллером будет происходить посредством сигнала 4...20

мА. Основные характеристики прибора представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6. Характеристики измерителя влажности газов ИВГ-1 МК-С

Параметр	Значение
Диапазон измерения точки росы, °С	Минус 80...0
Дискретность показаний, °С	1
Давление анализируемого газа, кПа	0...608
Расход анализируемого газа, л/час	20...60
Напряжение питания преобразователя, В, не более	9
Ток потребления, мА	70
Питание прибора, В	220

Также необходимо отслеживать уровень жидкости в баке теплоносителя. Диапазон измерений должен быть от 0,5 до 2 метров. Для этого используется магнитный уровнемер ПМП-152Е.

Характеристики измерителя представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7. Характеристики магнитного уровнемера ПМП-152Е

Параметр	Значение
Диапазон измерений, мм	6000
Выход прибора,	Релейный
Напряжение питания, В	24 DC
Рабочая температура, °С	Минус 50...100

Следующий параметр для отслеживания – это температура теплоносителя в котле. Необходимое измерение температуры 140°С и применяемость в жидких средах. Для измерения используется датчик температуры МПТ-01 фирмы МераПрибор. Характеристики датчика указаны в таблице 2.8. Как только температура превысит 150°С на панели оператора выдается предупреждение о том, что температура теплоносителя выше нормы.

Таблица 2.8. Характеристики датчика температуры МПТ-01

Параметр	Значение
Диапазон измерения, °С	Минус 50...600
Параметр	Значение
Выходной сигнал, мА	4...20
Напряжение питания, В	24

2.2.2 Исполнительные элементы

Краны с пневмоприводом служат для переключения между резервными и рабочими адсорберами, а также для подачи питания в систему пневмоуправления. Краны должны быть одностороннего действия, чтобы изменять состояние кранов соответствующим сигналом управления, с обратным самовозвратом с помощью пружинного устройства и иметь встроенный пневмораспределитель по типу 5/2. Краны должны выдерживать рабочее давление в трубопроводе от 3 до 7,5 МПа.

Питание пневмораспределителей, установленных на кранах, происходит с выхода установки подготовки импульсного газа.

Для такой системы управления необходимо разработать схему пневматическую принципиальную, которая отображает основные взаимодействия пневматических элементов установки.

Для этих целей подходит кран серии VZBA фирмы Festo. Характеристики кранов представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9. Характеристика крана серии VZBA фирмы Festo

Параметр	Значение
Номинальное рабочее давление, МПа	6,3
Тип управления	Пневматический
Тип конструкции	2-х ходовой кран
Температура среды, °С	минус 10...200

Продолжение таблицы 2.9

Давление питание распределителя, МПа	0,25...0,8
Время переключения, мс	8
Питание катушки, В	24 DC
Функция распределителя	5/2 стороннего действия

Для обеспечения циркуляции теплоносителя необходим насос, который должен обеспечивать давление 0.5 МПа, работать при температуре 140°С для трубопровода длиной 6.5 метров. Для этого выбран насос А1 3В 0,63/63-0,7/16Б. Характеристики насоса представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10. Характеристики насоса А1 3В 0,63/63-0,7/16Б

Показатель	Значение
Расход, м ³ /ч	1
Давление на выходе, МПа	1,6
Температура перекачиваемой жидкости, °С	150

Исходя из данных насоса можно посчитать необходимую мощность двигателя для насоса.

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (2.1)$$

где N – мощность насоса, Вт; ρ – плотность перекачиваемой жидкости, г/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; Q – расход жидкости, м³/с; H – необходимый напор насоса, м.

Теплоносителем является тосол марки М40, который имеет плотность 1,067 г/см³. Подставляя все величины, можно получить следующее выражение:

$$N = 1,067 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,016 \cdot 6,5 = 1,09 \text{ кВт}. \quad (2.2)$$

Таким образом двигатель должен иметь мощность не менее 1,09 кВт. Из [9] выбираем число оборотов двигателя по таблице СРК. Число оборотов $n = 2900$ об/мин. Выбран асинхронный двигатель АИР71 В2, технические характеристики которого представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11. Характеристики 5АИ 100 S2

Показатель	Значение
Мощность, кВт	1,1
Напряжение, В	220/380
Частота вращения, об/мин	2900
Ток статора, А	2,6

2.2.3 Расчет вакуумной системы

Под рабочим давлением принимается давление близкое к нулю, для одновременного нагрева, чтобы выкачать газ из адсорбера. Предварительное время откачки до давления выбрано исходя из времени сброса давления по алгоритму работы системы. То есть чтобы за времени переключения кранов, давление в системе снизилось до минимального, а при дальнейшем нагреве происходило вакуумирование адсорбера [10]. Расчет производим согласно [11].

Таким образом исходные данные для расчета: рабочее давление в камере 10^{-3} Па, время предварительной откачки рабочей камеры вместимостью 40 л (то есть два адсорбера по 20 л) до давления 5 Па не более 10 минут.

Исходя из заданного рабочего давления 10^{-3} Па, выбираем в качестве основного насоса пароструйный диффузионный насос, для нормальной работы которого необходимо предварительное разрежение порядка 1-10 Па. Для создания указанного предварительного вакуума выбираем пластинчато-роторный насос.

Находим конкретный типоразмер диффузионного насоса по значению суммарного потока газа, поступающего в вакуумную систему.

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{пр}} + Q_{\text{нат}} + Q_{\text{диф}} + Q_{\text{пов}} = p \cdot S_0 \cdot \quad (2.3)$$

где Q_{Σ} – суммарный поток газов, поступающих в вакуумную систему, $Q_{\text{пр}}$ – поток, обусловленный проницаемостью стенок вакуумной камеры, $\text{м}^3\text{Па}/\text{с}$; $Q_{\text{нат}}$ – поток газов натекающий из атмосферы, $\text{м}^3\text{Па}/\text{с}$; $Q_{\text{диф}}$ – поток газов, обусловленный

диффузионным газовыделением из глубины конструкционных материалов, $\text{м}^3\text{Па}/\text{с}$;
 $Q_{\text{пов}}$ – поток газов с поверхности рабочей камеры и элементов расположенных в ней, $\text{м}^3\text{Па}/\text{с}$; p – давление в рабочей камере, Па; S_0 – эффективная быстрота откачки рабочей камеры при номинальном давлении в рабочей камере p , $\text{м}^3/\text{с}$.

$Q_{\Sigma} = 8,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3\text{Па}/\text{с}$, так как материал изготовления адсорберов: сталь; адсорберы имеют 2 выхода для входного и выходного патрубка, а также отверстие для ввинчивания электроконтактного датчика температуры.

Определим необходимую эффективную быстроту откачки:

$$S_0 = \frac{Q_{\Sigma}}{p} = \frac{8,35 \cdot 10^{-4}}{10^{-3}} = 0,835 \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (2.4)$$

Далее находим быстроту действия насоса, при пароструйном насосе $v = 2$.

$$S_{\text{н}} = v \cdot S_0 = 2 \cdot 0,835 = 1,67 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.5)$$

где $S_{\text{н}}$ – быстрота действия насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; v – коэффициент для насоса.

Таким образом, коэффициент использования насоса составляет:

$$K_{\text{и}} = \frac{S_0}{S_{\text{н}}} = \frac{0,835}{1,67} = 0,5, \quad (2.6)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования насоса; $S_{\text{н}}$ – быстрота действия насоса, $\text{м}^3/\text{с}$.

Т.е. при выборе пароструйного диффузионного насоса должны выполняться условия:

- 1) $S_{\text{н}} > 1,67 \text{ м}^3/\text{с}$;
- 2) $P_{\text{пр}} < K_{\text{и}} \cdot p < 5 \cdot 10^{-4} \text{ Па}$.

Для посчитанных характеристик выбираем насос НВДМ-250 характеристики которого, представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12. Характеристики насоса НВДМ-250

Параметр	Значение
Быстрота действия, $\text{м}^3/\text{ч}$	2,35
Предельное остаточное давление, Па	$0,66 \cdot 10^{-4}$

Продолжение таблицы 2.12.

Параметр	Значение
Потребляемая мощность, кВт	2
Наибольшее выпускное давление, Па	33,3

Рабочее давление пластинчато-роторного насоса выбираем по максимальному выпускному давлению паромасляного насоса с коэффициентом запаса 2, тогда:

$$P = \frac{P_{\text{вып}}}{\eta} = \frac{33,3}{2} = 16,65, \quad (2.7)$$

где $P_{\text{вып}}$ – выпускное давление диффузионного насоса, Па; P – выпускное давление пластинчато-роторного насоса, Па; η – коэффициент запаса.

Соответственно эффективная быстрота откачки:

$$S_0 = \frac{Q_{\Sigma}}{P} = \frac{8,35 \cdot 10^{-4}}{16,65} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.8)$$

так как суммарный поток принимается постоянным.

Далее находим быстроту действия насоса. Для объемных насосов коэффициент насоса равен 1.3.

$$S_{\text{н}} = \nu \cdot S_0 = 1,3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} = 0,65 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.9)$$

где $S_{\text{н}}$ – быстрота действия насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; ν – коэффициент для насоса.

Таким образом коэффициент использования насоса:

$$K_{\text{и}} = \frac{S_0}{S_{\text{н}}} = \frac{0,5 \cdot 10^{-4}}{0,65 \cdot 10^{-4}} = 0,77, \quad (2.10)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования насоса, $S_{\text{н}}$ – быстрота действия насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; S_0 – эффективная быстрота откачки рабочей камеры, $\text{м}^3/\text{с}$.

Сформируем условия для выбора пластинчато-роторного насоса:

$$1) S_{\text{н}} > 0,65 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$2) P_{\text{пр}} < K_{\text{и}} \cdot P < 12,82 \text{ Па}.$$

Исходя из сформулированных требований был выбран насос 2НВР-2ДМ. Характеристики насоса в таблице 2.13.

Таблица 2.13. Характеристики насоса 2НВР-2ДМ

Параметр	Значение
Быстрота действия, м ³ /ч	55 · 10 ⁻⁴
Предельное остаточное давление, Па	2,6
Потребляемая мощность, кВт	0,55

Проверка возможности использования насоса 2НВР-2ДМ для предварительной откачки камеры размером 40 л за 10 минут.

Необходимо найти быстроту данного насоса. Быстрота откачки равна

$$S_0 = \frac{S_H}{\nu} = \frac{55 \cdot 10^{-4}}{1,3} = 42,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.11)$$

где S_H – быстрота действия насоса, м³/с; S_0 – эффективная быстрота откачки рабочей камеры, м³/с; ν – коэффициент для насоса.

Тогда получаем время откачки до давления 5 Па равно:

$$t = \frac{V}{S_0} \ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{42,3 \cdot 10^{-4}} \ln \frac{7,5 \cdot 10^6}{5} = 134,5 \text{ сек} = 2,24 \text{ мин}, \quad (2.12)$$

где V – объем рабочей камеры, л; S_0 – эффективная быстрота откачки рабочей камеры, м³/с; P_1 – давление перед началом откачки, Па; P_2 – давление после откачки, Па.

Время предварительной времени откачки меньше заданного, так что насос выбран правильно.

Вакуумная схема представлена в приложении В. Вакуумная схема выполнена согласно ГОСТ 2.701-2008 «Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению», ГОСТ 2.797-81 «Правила выполнения вакуумных схем» и ГОСТ 2.796-95 «Обозначения условно графические в схемах. Элементы вакуумных систем».

Для включения диффузионного насоса необходим двигатель с мощностью до 2 кВт. С указанной мощностью выбран трехфазный двигатель АИР80Б2. Характеристики двигателя представлены в таблице 2.14.

Таблица 2.14. Характеристики двигателя АИР 80Б2

Параметр	Значение
Мощность, кВт	2,2
Частота вращения, об/мин	2855
Ток при 380В, А	4,85
КПД, %	81
$I_{п}/I_{н}$	7

Для работы пластинчато-роторного насоса необходим двигатель с мощностью 0.55 кВт. Исходя из требования мощности, выбирается трехфазный двигатель АИР71В6. Характеристики двигателя представлены в таблице 2.15.

Таблица 2.15. Характеристики двигателя АИР71В6

Параметр	Значение
Мощность, кВт	0,55
Частота вращения, об/мин	920
Ток при 380В, А	1,8
КПД, %	69
$I_{п}/I_{н}$	4,5

Управление двигателями вакуумных насосов будет заключаться в своевременном включении и отключении через контакторы, по сигналу ПЛК, который формируется исходя из состояния приборов.

2.2.4 Электрические элементы системы автоматизации

Для запуска двигателей циркуляционного насоса необходим нереверсивный пускатель. Двигатели имеет напряжение питания 380 В и мощность 1,1, 2,2 и 0,55 кВт с номинальным током 2,6, 4,5 и 1,8 А, соответственно. Для каждого двигателя

подойдет контактор LC1D12BD. Характеристики контактора представлены в таблице 2.16.

Таблица 2.16. Характеристики контактора LC1D12BD

Параметр	Значение
Рабочее напряжение, В	230...400
Количество контактов (НО)	4
Напряжение цепи управления, В	24
Максимальная мощность, кВт	5,5
Номинальный рабочий ток, А	12
Макс. коммутируемый ток, А	22

Для выбора блока питания, для датчиков, необходимо знать общий ток, потребляемый всеми датчиками. В таблице 2.17 представлены токи потребления таких устройств.

Таблица 2.17. Питание датчиков

Название	Количество, шт.	Значение тока, мА	Сумма токов, мА
PT5402	2	21,5	43
Манометр ДМ2010	2	10	20
TS100	2	20	40
Манометр ДМ2010 СГ	2	10	20
Вакуумметр ДВ 2005ф	2	10	20
Уровнемер Baumer 50 series	1	20	20
МПТ - 01	1	20	20
Итого			183

Блок питания для исполнительных элементов также должен быть рассчитан, исходя из данных о потребителях тока. В таблице 2.18 представлены, данные о потребляемом токе исполнительных механизмов.

Таблица 2.18. Потребляемые токи исполнительных механизмов

Название	Количество, шт.	Значение тока, мА	Сумма токов, мА
Кран 2-х ходовой серии VZBA	14	50	700
Кран 3-х ходовой серии 3/4	2	60	120
Итого			820

Таким образом, можно составить требования для блоков питания датчиков и исполнительных механизмов. Выходной ток не менее 183 мА и 820 мА, а выходное напряжение, в обоих случаях одинаково 24 В. Данным критериям соответствует блок питания БП2-24V DC фирмы ТЭКО. Характеристики блока питания представлены в таблице 2.19. Блоки питания берутся с запасом по току, для внедрения новых элементов технологического процесса.

Таблица 2.19. Характеристики блока питания БП2-24V DC

Параметр	Значение
Напряжение питания AC, В	85...264
Выходное напряжение DC, В	24
Выходной ток, А	1,5 А
Максимальная мощность, Вт	48

Для управления технологическим процессом необходимы кнопки пуска, старта и аварийного останова. Также для подсветки шкафа необходима осветительная лампа и сигнальная лампа, о начале работы системы.

В качестве кнопки старт используется нормально открытая кнопка XB7NA31. Характеристики кнопки представлены в таблице 2.20.

Таблица 2.20. Характеристики кнопки XB7NA31

Параметр	Значение
Тип контактов	Нормально открытый
Тип рукоятки	С возвратом

Для кнопки стоп используется кнопки с нормально закрытым контактом. В качестве этой кнопки используется кнопка XB7NA42. Характеристики кнопки представлены в таблице 2.21.

Таблица 2.21. Характеристики кнопки XB7NA42

Параметр	Значение
Тип контактов	Нормально закрытый
Номинальный рабочий ток, А	0,3
Тип рукоятки	С возвратом

Защита двигателей обеспечивается автоматической защитой по тепловому току. Прибором для этих целей служит автоматический выключатель с комбинированным расцеплением GV2ME14. Характеристики автомата защиты представлены в таблице 2.22.

Таблица 2.22. Характеристики автоматического выключателя GV2ME14

Параметр	Значение
Ток срабатывания, А	138
Номинальный ток, А	10
Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, кВ	6

Для индикации старта системы используется сигнальная лампа BLS10-ADDS-230-K06. Характеристики сигнальное лампы представлены в таблице 2.23. Лампа загорается зеленым цветом, когда нажата кнопка старт.

Таблица 2.23. Характеристики лампы BLS10-ADDS-230-K06

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, В	220
Цвет свечения	Зеленый
Номинальный ток, А	0,02

2.2.5 ПЛК и панель оператора

Исходя из требований к системе и составленной на рисунке 1 архитектуре системы автоматизации и функциональной схема автоматизации можно вывести требования для ПЛК.

Контроллер должен иметь:

- 1) возможность подключения панели по интерфейсу RS-485;
- 2) наличие 6 аналоговых входов;
- 3) наличие 14 дискретных входов;
- 4) наличие 18 дискретных выходов;
- 5) соединение с внешним ПК по протоколу Ethernet.

Для этого для надежности, простоты программирования и большего функционала выбран контроллер фирмы SIEMENS CPU314. Для работы контроллера выбран блок питания для питания из сети 220В, добавлены модули аналогового ввода, цифрового ввода, цифрового выхода и модуль коммуникационного интерфейса. Основные характеристики аппаратной конфигурации представлены в таблице 2.24.

Таблица 2.24. Основные характеристики аппаратной конфигурации

Параметр	Значение
Напряжение питания DC, В	24
Интерфейсы	MPI, RS-485, Ethernet
Количество цифровых входов	16

Продолжение таблицы 2.24

Количество цифровых выходов	24
Количество аналоговых входов	8
Максимальный ток блока питания, А	5

Для визуализации технологического процесса и взаимодействия оператора с системой необходима установка панели оператора. Так как система не имеет большого количества элементов, то для визуализации используется панель SIMATIC HMI KTP700 Basic color DP. Характеристики данного устройства представлены в таблице 2.25 [12].

Таблица 2.25. Характеристики SIMATIC HMI KTP700 Basic color DP

Параметр	Значение
Разрешение экрана, пикселей	800x480
Число функциональных клавиш	6
Цифровая клавиатура	Да
Питание DC, В	24
Потребление тока, А	0,35
Интерфейсы	RS-485, RS-422
Протоколы	Modbus RTU, MPI, Profibus

Визуализация будет представлена на трех основных экранах. На каждом экране отражены основные параметры установки и состояния работы механизмов.

2.3 Разработка схем соединения элементов системы автоматизации

2.3.1 Разработка функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема автоматизации выполняется по ГОСТ 21-208-2013, по ГОСТ 21-408-2013 и ГОСТ 2-701-2008.

Функциональная схема автоматизации для установки подготовки импульсного газа представлена в приложении Г.

2.3.2 Разработка схемы электрической принципиальной

Схема электрическая принципиальная выполнена согласно ГОСТ 2.710-81, ГОСТ 2.702-2011 и ГОСТ 2.701-2008.

Используемые диоды для шунтирования катушек пневмораспределителей выбираются исходя из того, что на задних фронтах появляются выбросы импульсов, то есть в момент выключения катушки. Причина возникновения выбросов следующая, при протекании тока через индуктивность, в ней накапливается энергия магнитного поля. Когда катушка начинает закрываться, а, следовательно, ток через катушку уменьшается, катушка стремится поддержать протекающий через неё ток том же уровне. Препятствовать уменьшению тока, она может только за счёт накопленной энергии магнитного поля. Таким образом, вся энергия магнитного поля преобразуется в электрическую, что и является причиной индуктивного выброса.

Для того, чтобы избежать выбросов и увеличить срок службы приборов, катушку шунтируют импульсным диодом. В качестве шунтирующего диода выбран диод FR157, с максимальным напряжением 1000 вольт и максимальным временем восстановления обратного сопротивления 500 нс.

Для шунтирования контакторов применяется RC – цепочка, которая служит для предотвращения, возможного образования дуги при размыкании контактов.

Для расчета параметров R и C воспользуемся формулами из [13]. Емкость катушки в мкФ с номинальным рабочим током $I_{\text{раб}} = 4,85$:

$$C = \frac{I_{\text{раб}}}{10} = \frac{4,85^2}{10} = 2,35 \text{ мкФ.} \quad (2.13)$$

Сопротивление R, соответственно, при номинальном напряжении $E_0 = 380\text{В}$, будет равно:

$$R = \frac{E_0}{\left(10I_{\text{раб}} \left(1 + \frac{50}{E_0}\right)\right)} = \frac{E_0}{10 \cdot 4,85 \cdot \left(1 + \frac{50}{380}\right)} = 6,94 \text{ Ом.} \quad (2.14)$$

Схема электрическая принципиальная с перечнем элементов представлена в приложении Д.

2.3.3 Разработка схемы пневматической принципиальной

Схема пневматическая принципиальная построена согласно ГОСТ 2.781-96, ГОСТ 2.780–96, ГОСТ 2.782–96 и ГОСТ 2.701-84.

Газ через входной штуцер пневмопитания поступает на влагоотделитель. Наличие влагоотделителя обусловлено негативными факторами, которыми влага влияет на работоспособность пневматических устройств. Конденсируясь на деталях, влага вызывает их коррозию, увеличивает трение на трущихся поверхностях деталей, а при отрицательных температурах способствует уменьшению проходных сечений за счет образования льда на внутренних поверхностях каналов [14].

Выходные фильтры предназначены для фильтрации отработанного газа, который высвобождается на поверхность.

Схема пневматическая принципиальная представлена в приложении Е.

2.4 Разработка алгоритма управления и программного обеспечения систем автоматизации

Для данной системы разработана циклограмма работы, представленная на рисунке 2.3. Циклограмма разработана в соответствии с тем, что каждый следующий цикл начинается с изменения состояния одной из входных переменных. Алгоритм работы представлен в приложении Ж.

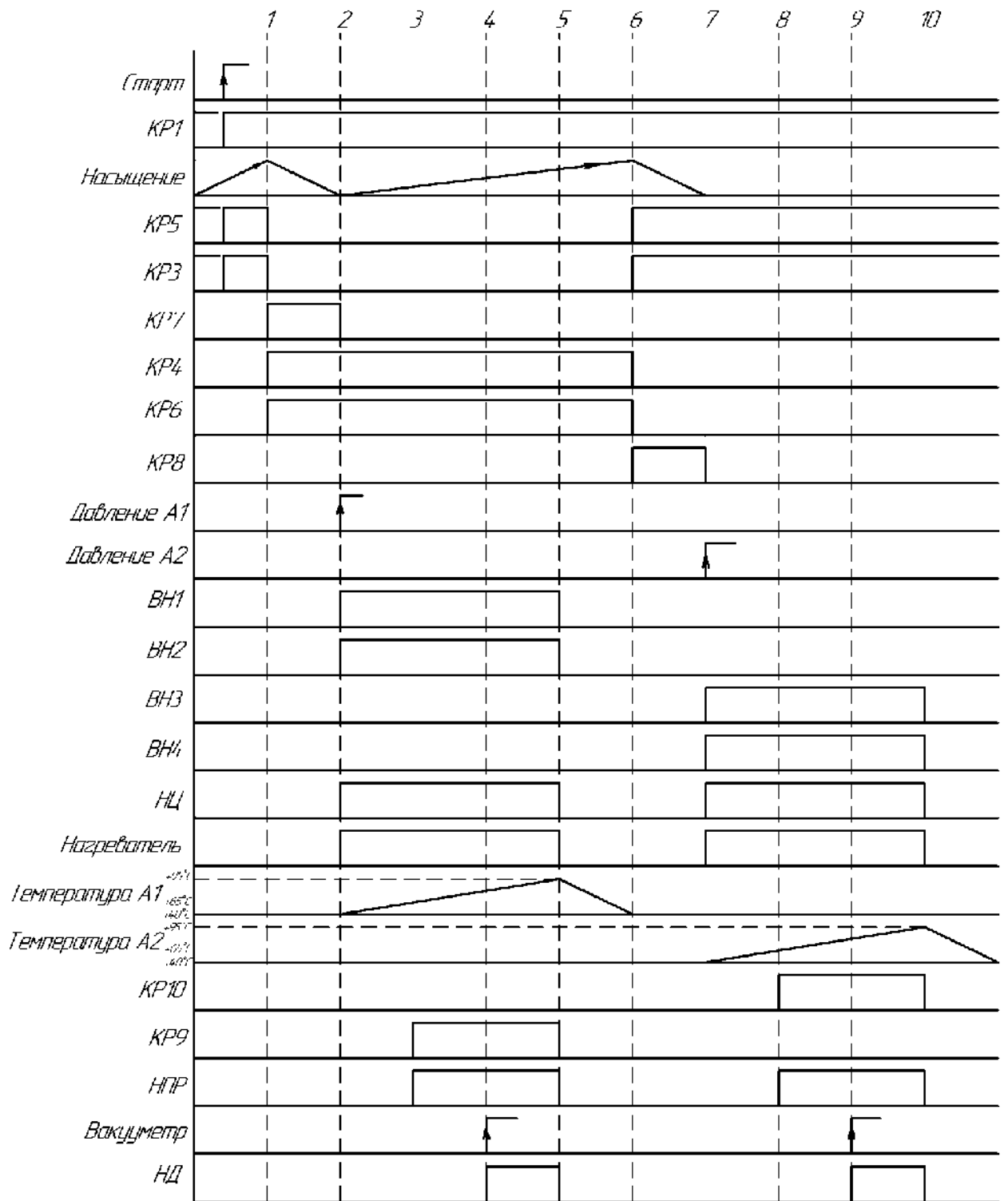


Рисунок 2.3. Циклограмма работы установки

По нажатию на кнопку старт открываются кран подачи газа (КР1), входной кран первой пары адсорберов (КР3) и выходной кран (КР5). Далее происходит работа адсорберов, то есть осушение газа. Как только измеритель влажности (Насыщение) адсорберов фиксирует точку росы на выходе установки минус 50°C, входной (КР3)

и выходной (КР5) краны закрываются и открываются входной кран второй пары адсорберов (КР4) и выходной кран (КР6). Также по достижению сигнала на выходе от измерителя влажности (Насыщение) начинается процесс регенерации. Кран сброса давления из первой пары адсорберов (КР7) открывается и давление сбрасывается до тех пор, пока давление не установится до 0,05 МПа по электроконтактному манометру (Давление А1). Затем, при срабатывании электроконтактного манометра (Давление А1) открывается входной вентиль теплоносителя первой пары адсорберов (ВН1) и выходной вентиль теплоносителя (ВН2), включается циркуляционный насос (НЦ) и нагреватель теплоносителя (Нагреватель). Температура первой пары адсорберов измеряется датчиком температуры (Температура А1). При достижении температуры в 65°C включается пластинчато-роторный вакуумный насос (НПР), для предварительного создания вакуума и открывается вакуумный кран (КР9). При показании вакуумметра (Вакуумметр) 5 Па, включается диффузионный вакуумный насос (НД). Процесс регенерации заканчивается при достижении первой пары адсорберов температуры 95°C. При этом, отключаются нагреватель (Нагреватель), циркуляционный насос теплоносителя (НЦ), закрывается вентиль подачи теплоносителя в адсорберы (ВН1) и вентиль выхода теплоносителя (ВН2), выключаются пластинчато-роторный насос (НПР) и диффузионный насос (НД). После этой операции пара первых адсорберов готова к осушению газа.

Вторая пара адсорберов на протяжении цикла регенерации находится в работе. Сигналом к началу регенерации второй пары адсорберов служит достижение измерителя влажности газов (Насыщение) температуры минус 50°C. При этой работа установки переключается со второй пары на первую. Открываются входной кран первой пары адсорберов (КР3) и выходной (КР5). Вторая пара проходит регенерацию цеолита, то есть открывается кран сброса давления со второй пары адсорберов (КР8), который закрывается при срабатывании датчика давления второй пары (Давление А2). При срабатывании датчика давления (Давление А2) открываются входной вентиль подачи теплоносителя (ВН3) и выходной вентиль

теплоносителя (ВН4). Также включаются циркуляционный насос (НЦ) и нагреватель теплоносителя (Нагреватель). По достижению температуры второй пары адсорберов 65°C, которая фиксируется по датчику температура (Температура А2), открывается кран подачи вакуума (КР10) и включается пластинчато-роторный насос (НПР). При достижении давления в системе 5 Па, по сигналу с вакуумметра (Вакуумметр), включается диффузионный насос (НД). Сигналом к прекращению регенерации служит достижение температуры адсорберов в 95°C по датчику температура (Температура А2), при этом выключается нагреватель теплоносителя (Нагреватель), циркуляционный насос (НЦ), закрываются входной вентиль подачи теплоносителя (ВН3) и выходной (ВН4), выключаются диффузионный насос (НД) и насос пластинчато-роторный (НПР). При этом вторая пара адсорберов готова к осушению газа. Далее работа повторяется циклично.

Также в программе работы ПЛК учтены показания датчиков, сигнализирующих о достижении минимального уровня жидкости в баке теплоносителя, о недопустимом давлении на входе и выходе с установки, о превышении температуры и давления теплоносителя.

При повышении давления на входе выше 7,5 МПа газ проходит, обходя адсорберы напрямую к выходу через байпасный кран (КР2) и при этом закрывается кран, подающий газ в адсорберы. При повышении давления на выходе установки до 7,5 МПа, происходит закрытие крана, подающего газ в адсорберы.

Разработка кода программы выполнена в программе TiaPortal, которая является программным обеспечением фирмы Siemens для написания программ. Код программы представлен в приложении И.

В программе учтен перенос входных данных в память контроллера, для дальнейшего использования памяти при разработке визуализации и срабатывании предупреждений системы и показа аварий по достижению критических значений установки.

2.5 Разработка системы визуализации управления технологическим процессом

Система визуализации была выполнена на панели SIMATIC HMI KTP700. Отображение процесса условно разделено на 3 части: блок осушки газа; блок вакуумирования и блок подготовки теплоносителя.

В блоке осушки газа условно представлены адсорберы Адс.1 и Адс.2 и краны КР1 (входной кран подачи газа на адсорберы), краны КР3 и КР4, выходные краны адсорберов (КР5 и КР6), а также байпасная линия с краном КР2.

Условная цветовая индикация изображает работу кранов (зеленый – кран открыт, серый – кран закрыт). Состояние системы при котором сработала защита двигателя и превышено давление на входе представлено на рисунке 2.4.

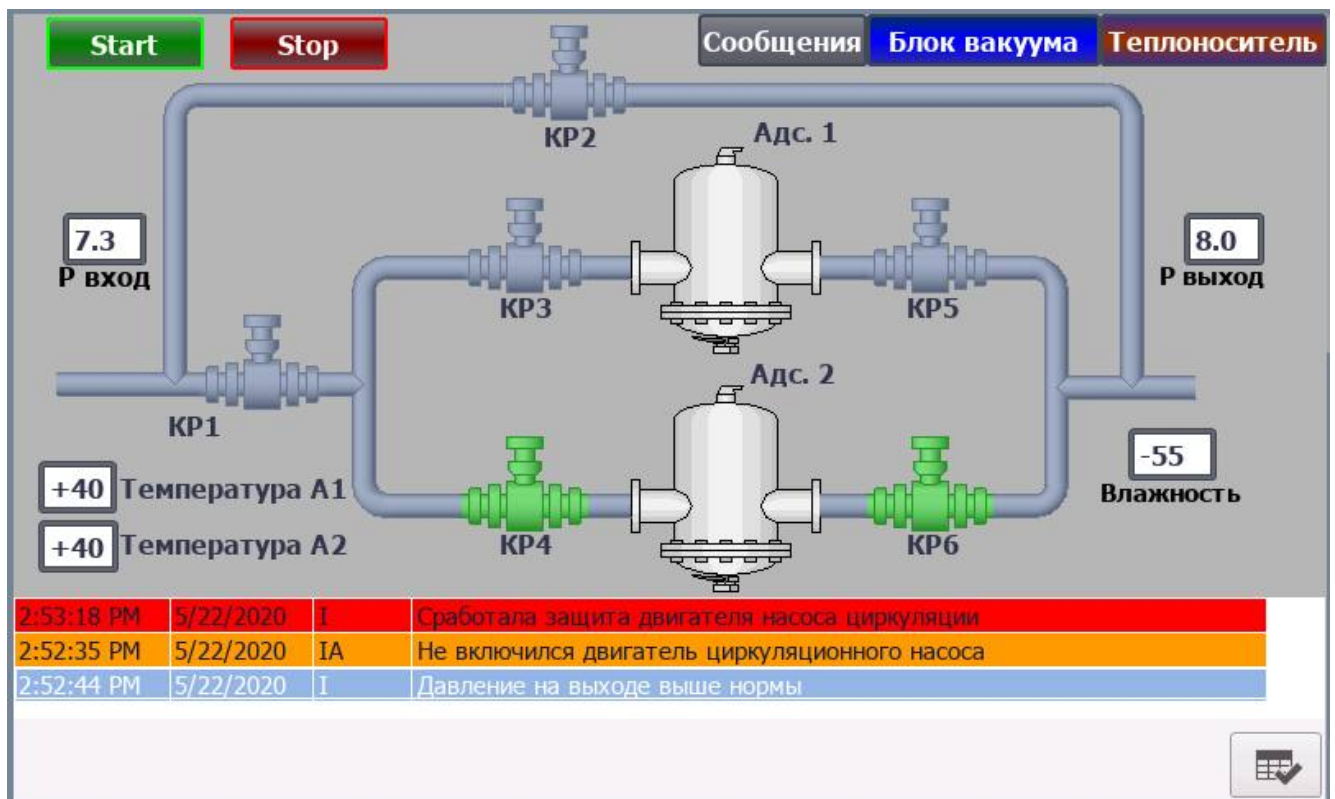


Рисунок 2.4. Мнемосхема блока осушки

С данного экрана также можно перейти на экран сообщений, вакуумный блок и блок подготовки теплоносителя. На экране также отображается температура адсорберов, влажность газов и давление на входе и выходе с установки.

Блок вакуумирования, который показан на рисунке 2.5, представлен пластинчато-роторным и диффузионным вакуумным насосом.

Красная цветовая индикация насосов, также, говорит о срабатывании электрической защиты двигателей.

В программе предусмотрено срабатывание обратной связи двигателя. Если в течении 10 секунд, обратная связь с двигателя не пришла, то дальнейший запуск двигателя возможен только после квитирования оператором сообщения об ошибке. Двигатель при этом отображается желтым цветом.

С данного экрана также можно перейти на экран сообщений, блок осушки и блок подготовки теплоносителя.

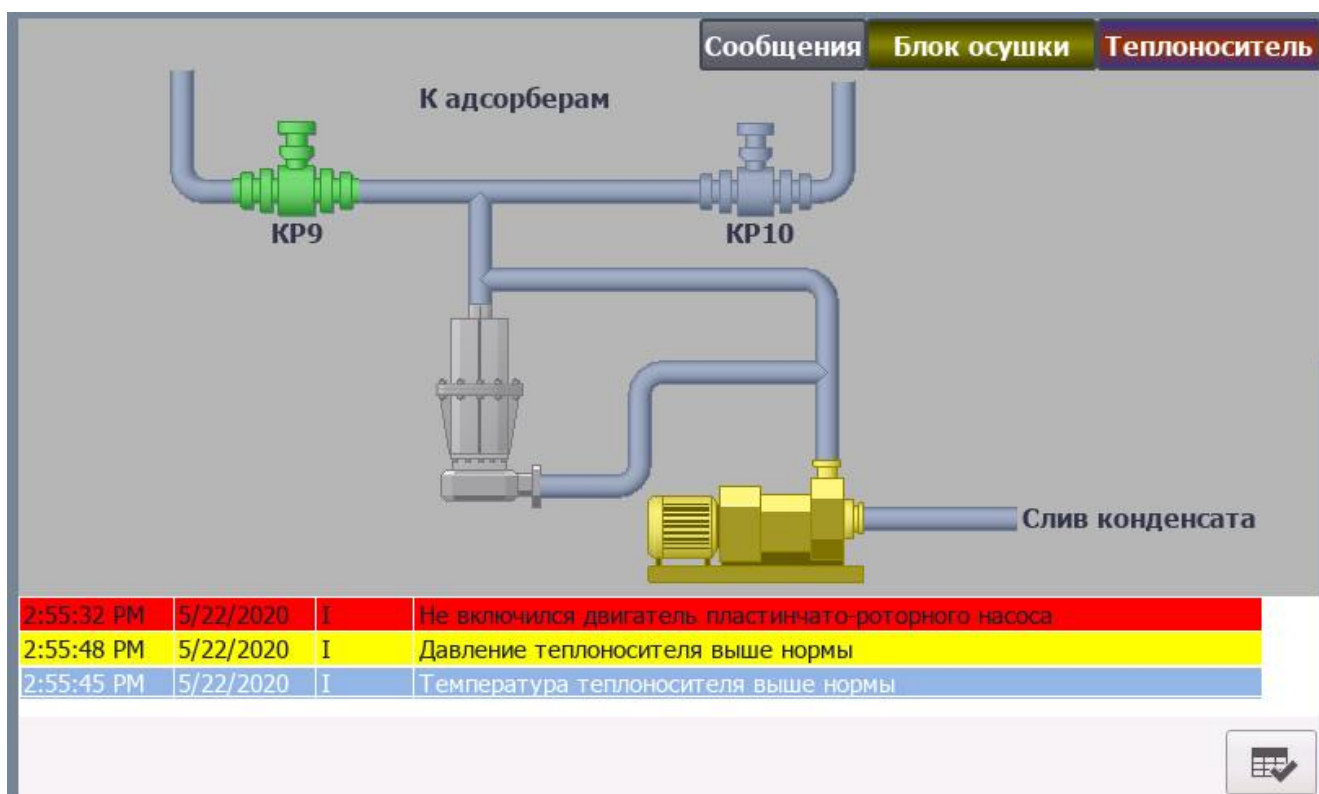


Рисунок 2.5. Мнемосхема блока вакуумирования

В блоке подготовки теплоносителя, представленном рисунке 2.6, на экране представлены циркуляционный насос, нагреватель и вентили подачи теплоносителя в адсорберы (ВН1, ВН2, ВН3 и ВН4).

Цветовая индикация насоса также предусматривает указание о срабатывании защиты электродвигателя насоса. Зеленый сигнал, указывающий о том, что

двигатель включен, загорается только после получения обратной связи от двигателя. Также предусмотрена смена цвета при включении нагревателя с серого на красный, и отображение данных о температуре теплоносителя.

На экране имеются кнопки для перехода между различными активными экранами, для своевременного перехода между блоками и оценивания ситуации оператором.

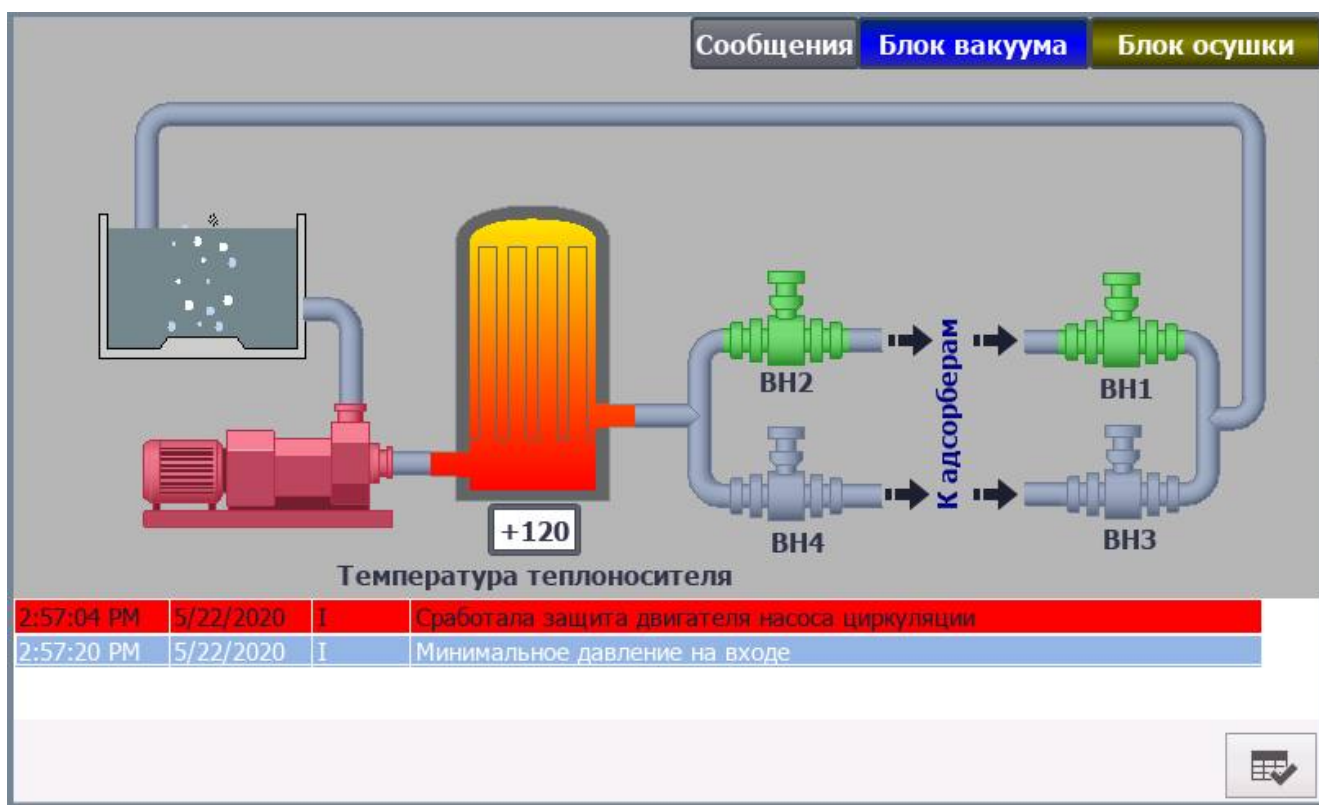


Рисунок 2.6. Мнемосхема блока подготовки теплоносителя

Внизу экрана расположено поле предупреждений и аварий с отображением текущего времени выявления ошибки, даты, статуса и теста ошибки. При исчезновении причины предупреждения, строка с данным предупреждением исчезает. Также предусмотрено критических ошибок оператором. Кнопка расположена на панели приборов.

В окне «Сообщения» отображаются все ранее полученные сообщения, а также данные о состоянии адсорберов.

3 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

3.1 Характеристика предприятия и выпускаемой продукции

ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» газотранспортное – предприятие Единой системы газоснабжения России, 100-процентное дочернее Общество ПАО «Газпром». Осуществляет обслуживание объектов газотранспортной системы, транспортировку и распределение природного газа на территории Свердловской, Челябинской, Оренбургской и Курганской областей.

Предприятие «Газпром трансгаз Екатеринбург» (первоначальное название – Управление магистральных газопроводов «Бухара –Урал») образовано 28 января 1964 года. Предпосылкой его создания послужило строительство новой газовой магистрали.

В те годы трасса «Бухара – Урал», гигантская железная «вена» протяженностью более 4000 км, стала самой эффективной на земном шаре газотранспортной системой с рекордными объемами подачи газа.

В настоящее время Предприятие «Газпром трансгаз Екатеринбург» занимается обеспечением бесперебойной поставки газа потребителям в запланированных объемах. Через систему газопроводов компании ежегодно транспортируется около 80 млрд кубометров природного газа, часть которого направляется промышленным и коммунально-бытовым потребителям Уральского региона, другая его часть передается в газотранспортные системы ООО «Газпром трансгаз Самара», ООО «Газпром трансгаз Уфа», а также в Республику Казахстан.

Предприятие «Газпром трансгаз Екатеринбург» включает в себя большое количество подразделений. В составе Общества 24 филиала, из которых 13 линейных производственных управлений магистральных газопроводов и 4 Управления аварийно-восстановительных работ [15].

Установка подготовки импульсного газа находится на Челябинском линейном производственном управлении магистральными газопроводами. Челябинское

ЛПУМГ эксплуатирует 934,3 км газопроводов в однониточном исполнении. Осуществляет транспортировку газа в северном (Екатеринбург), южном (Красногорск) и западном (Республика Башкортостан) направлениях. Через сеть газопроводов-отводов и ГРС, эксплуатируемых Управлением, природным газом снабжаются промышленные предприятия и население крупных городов и населенных пунктов пяти районов Челябинской области.

Для модернизации системы управления была выбрана установка подготовки импульсного газа на компрессорной станции. Данная установка предназначена для осушения газа перед его дальнейшим использованием запорной арматурой. Основная часть установки – это фильтры-адсорберы, которые осуществляют осушку газа. Адсорберы в процессе их работы необходимо осушать, то есть проводить регенерацию адсорбента. Осушка происходит путем нагрева до определенной температуры, выпаривании газов и дальнейшей продувки оборудования природным газом. Также при этом происходит переключение с одной пары адсорберов на другую вручную оператором.

Сутью проектируемой системы является автоматический переход между основными и резервными адсорберами по сигналам с датчиков, что облегчит работу оператора и приведет к более своевременным переключениям между адсорберами.

Далее для уменьшения потребления электроэнергии будет установлен блок вакуумирования для регенерации. Это приведет к тому, что при термо-вакуумной регенерации необходимо нагревать адсорбент до меньших температур и, соответственно, будет меньшее потребление электроэнергии. Также будут исключены потери газа, используемого для продувки адсорберов, что позволит сократить время регенерации пары адсорберов, осуществить большую подачу газа потребителям и уменьшить выбросы газа в атмосферу.

3.2 Расчет производственной программы

В данной установке реализуется передача осушенного газа потребителям (запорно-регулирующей аппаратура). В реализуемой модернизированной системе пропускная способность не уменьшится и составит 600 м³/час. Потребляемая мощность до модернизации составляла 10 кВт в режиме регенерации и 0,3 кВт в режиме осушки.

В реализуемой системе реализовано снижение потребления электроэнергии в режиме регенерации до 6,05 кВт. Также устраняются потери связанные с продувкой оборудования. Потери составляли до 10 м³ при проведении одной регенерации.

3.3 Расчет сметы капитальных затрат

Для определения экономической эффективности намеченных мероприятий необходимо определить сумму капитальных затрат на их внедрение [16].

Общая величина капитальных вложений включает суммарные затраты на приобретение, транспортировку и монтаж оборудования. Расчет капитальных затрат производится по следующей формуле:

$$K = C_{об} + T + Z_M + Z_{нп}, \quad (3.1)$$

где, $C_{об}$ – общая стоимость оборудования, руб.; T – транспортные расходы, 6-10% от $C_{об}$, руб.; Z_M – монтажные работы, 10-15% от $C_{об}$, руб.; $Z_{нп}$ – непредвиденные расходы, 3-5% от $C_{об}$, руб.

Цены на внедряемое оборудование представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Цены на оборудование

Наименование оборудования	Количество, шт.	Цена за единицу, тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
Мановакууметр ДВ2005-ф	2	1,5	3

Продолжение таблицы 3.1.

Наименование оборудования	Количество	Цена за единицу, тыс. руб.	Общая стоимость, тыс. руб.
Кран 3-хходовой VZBA3/4 фирмы Festo	2	5,4	10,8
Насос НВДМ-250	1	114,5	114,5
Насос 2НВР-2ДМ	1	89,9	89,9
Двигатель АИР80Б2	1	5,3	5,3
Двигатель АИР71В6	1	4,3	4,3
Контактор КМ 40А 4NO	2	1,7	3,4
Блок питания БП2-24V	2	2,76	5,52
Перепрограммирование контроллера	1	25	25
Трубопровод для вакуумной системы	10 м	0,55	5,5
Прочее неучтенное оборудование	-	5%	15,391
Итого			280,581

Таким образом, транспортные расходы составили:

$$T = C_{об} \cdot 0,1 = 280581 \cdot 0,1 = 28058,1 \text{ руб.} \quad (3.2)$$

Монтажные работы по установке нового оборудования составляют:

$$Z_M = C_{OB} \cdot 0,1 = 28051,1 \text{ руб.} \quad (3.3)$$

Непредвиденные затраты составляют:

$$Z_{НП} = C_{OB} \cdot 0,05 = 14025,25 \text{ руб.} \quad (3.4)$$

Общие капитальные затраты составляют:

$$K = 280581 + 28058,1 + 28058,1 + 14025,25 = 350726,25 \text{ руб.} \quad (3.5)$$

3.4 Расчет РСЭО до внедрения проектируемых мероприятий

Амортизационные отчисления до внедрения нового оборудования составляли:

$$A_{CT} = \text{Цена об.} \cdot \frac{N_A}{100\%} = 2500 \cdot 0,1 = 250 \text{ тыс. руб.}, \quad (3.6)$$

где Цена об. – покупная цена оборудования, тыс. руб.; N_A – норма амортизации, %.

Цена оборудования до внедрения мероприятий составляет 2500 тыс. руб.

Норма амортизации составляет:

$$N_A = \frac{100}{T_\Phi} = \frac{100}{10} = 10 \%, \quad (3.7)$$

где T_Φ – время службы оборудования, год.

Время службы оборудования T_Φ выбрано из [17] по пятой группе классификации основных средств, включаемых в амортизацию. В подгруппе сооружения и передаточные устройства, установка осушки газа (срок полезного использования от 7 до 10 лет).

До внедрения новых мероприятий установка потребляла мощность соответствующую:

$$P_{ПОТРСТ} = P_{НАГР} + P_{НЦ} = 8 + 2 = 10 \text{ кВт}, \quad (3.8)$$

где, $P_{НАГР}$ – мощность, потребляемая нагревателем при нагреве до 350°C, кВт; $P_{НЦ}$ – мощность, потребляемая циркуляционным насосом, кВт.

Соответственно за время регенерации, которое составляет 3 часа, установка потребляла:

$$P_{CT} = P_{ПОТР CT} \cdot t_{РЕГ} = 10 \cdot 3 = 30 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3.9)$$

где P_{CT} – потребляемая мощность до внедрения, кВт·ч; $t_{РЕГ}$ – время регенерации, ч.

Таким образом, стоимость затрат на электроэнергию составляла, при учете, что регенерация проводится каждые 16 часов, то есть 547,5 раз за год составляет:

$$\Sigma \text{Э/э}_{ГОД CT} = P_{CT} \cdot n_{ГОД} \cdot C_{\text{Э/э}} = 30 \cdot 547,5 \cdot 3,3 = 54172,8 \text{ руб}, \quad (3.10)$$

где $\Sigma \text{Э/э}_{ГОД CT}$ – прежние затраты на электроэнергию, руб.; $n_{ГОД}$ – количество регенераций адсорбента в год; $C_{\text{Э/э}}$ – стоимость 1 кВт электроэнергии, руб./кВт·ч.

В качестве теплоносителя используется тосол марки М40, который необходимо доливать в размере 3 литров каждые 48 часа, в связи с нагревом до больших температур теплоносителя. Затраты на тосол составляли:

$$Z_T = V \cdot n_{ГОД} \cdot C_T = 3 \cdot 182,5 \cdot 50 = 27375 \text{ руб}, \quad (3.11)$$

где Z_T – затраты на теплоноситель, руб.; V – объем теплоносителя, л.; $n_{ГОД}$ – количество раз заливка теплоносителя в год; C_T – стоимость 1 литра теплоносителя, руб.

Также при таком способе регенерирования приходилось заменять цеолит на новый каждые полгода [5]. Стоимость цеолита в год обходилась:

$$Z_{Ц} = C_{Ц} \cdot m_{Ц} \cdot 2 = 6160 \text{ руб}, \quad (3.12)$$

где $Z_{Ц}$ – затраты на цеолит, руб.; $C_{Ц}$ – стоимость цеолита, руб.; $m_{Ц}$ – масса цеолита, кг.

Установку обслуживают прибористы ЛПУМГ. Производят осмотр оборудования установки каждый день, с проведением регенерации и заливом тосола.

Оклад прибориста составляет 16460 рублей.

Премияльная оплата труда (30% от оклада), составляет:

$$Pr = 3P_{ПР} \cdot 0,3 = 16460 \cdot 0,3 = 4938 \text{ руб}, \quad (3.13)$$

где Pr – премияльная оплата труда, руб.; $3P_{ПР}$ – заработная плата прибориста, руб.

С учетом уральского коэффициента (15%), надбавка составляет:

$$\text{ПрК}_{\text{ур}} = (\text{ЗП}_{\text{пр}} + \text{Пр}) \cdot 0,15 = 3207,7 \text{ руб}, \quad (3.14)$$

где $\text{ПрК}_{\text{ур}}$ – премия уральского коэффициента, руб.

Таким образом, месячный фонд оплаты труда составляет:

$$\text{ЗП} = \text{ЗП}_{\text{пр}} + \text{Пр} + \text{ПрК}_{\text{ур}} = 16460 + 4938 + 3207,7 = 24605,7 \text{ руб}, \quad (3.15)$$

где ЗП – заработная плата прибориста, руб.

Годовой фонд оплаты труда равен:

$$\text{ФОТ}_{\text{год}} = \text{ЗП} \cdot n_{\text{мес}} = 24605,7 \cdot 12 = 295268,4 \text{ руб}, \quad (3.16)$$

где $\text{ФОТ}_{\text{год}}$ – годовой фонд оплаты труда, руб.; $n_{\text{мес}}$ – количество месяцев в году.

Отчисления в социальные службы установлены в размере 30% от общего фонда оплаты труда, в эти проценты входит отчисления в пенсионный фонд (22%), отчисления в федеральный фонд обязательного медицинского страхования (5.1%), отчисления в территориальный фонд медицинского страхования (2.9%). Исходя из этого, отчисления на социальные службы составят:

$$\text{З}_{\text{соц}} = \text{ФОТ}_{\text{год}} \cdot 0,3 = 88580,52 \text{ руб}, \quad (3.17)$$

где $\text{З}_{\text{соц}}$ – отчисления из заработной платы на социальные службы, руб.

Таким образом, затраты на заработную плату работника в год, составят:

$$\text{З}_{\text{зп стар}} = \text{ФОТ}_{\text{год}} + \text{З}_{\text{соц}} = 295268,4 + 88580,52 = 383548,92 \text{ руб}, \quad (3.18)$$

где $\text{З}_{\text{зп стар}}$ – затраты на заработную плату до внедрения планируемых мероприятий, руб.

Расходы, связанные с потерей газа при проведении регенерации, составляют:

$$\text{З}_{\text{рег}} = C_{\text{газа}} \cdot V_{\text{потерь}} \cdot n_{\text{год}} = 6,78 \cdot 10 \cdot 547,5 \text{ руб}, \quad (3.19)$$

где $\text{З}_{\text{рег}}$ – затраты газа на регенерацию, руб.; $C_{\text{газа}}$ – стоимость газа, руб./м³; $V_{\text{потерь}}$ – объем потерь при проведении одной регенерации, м³, $n_{\text{год}}$ – количество регенераций в год.

Приборист службы САиМО челябинского ЛПУМГ принимает решения о замене оборудования, устанавливает значения температур в установке, следит за временем поверки приборов и проводит регенерацию цеолита.

3.5 Расчет РСЭО после внедрения проектируемых мероприятий

Новые амортизационные отчисления, при проведении капитальных затрат составят:

$$A_{\text{нов}} = K \cdot \frac{H_A}{100\%} = 350726,25 \cdot 0,1515 = 53135,03 \text{ руб.}, \quad (3.20)$$

где $A_{\text{нов}}$ – величина новых амортизационных отчислений, руб.; K – величина капитальных вложений, руб.; H_A – норма амортизации, %.

Норма амортизации для внедряемого оборудования составляет:

$$H_A = \frac{100}{T_{\phi}} = \frac{100}{6,6} = 15,15 \%, \quad (3.21)$$

где T_{ϕ} – величина полезного использования внедряемого оборудования, год.

Величина T_{ϕ} взята из [17], четвертой группы, машины и оборудование (имущество со сроком полезного использования от 5 до 7 лет).

Таким образом амортизационные отчисления после внедрения планируемых мероприятий составят:

$$A = A_{\text{ст}} + A_{\text{нов}} = 250000 + 53135,03 = 303135,03 \text{ руб.}, \quad (3.22)$$

где A – величина амортизационных отчислений после внедрения нового оборудования, руб.

Величина старых амортизационных отчислений спишется полностью, через 2 года, так как оборудование было установлено в 2012 году со сроком полезной службы 10 лет.

Электрическая мощность, потребляемая новыми приборами, составит:

$$P_{\text{ПОТР НОВ}} = P_{\text{НАГР}} + P_{\text{НЦ}} + P_{\text{ВАК}} = 1,5 + 2,55 + 2 = 6,05 \text{ кВт}, \quad (3.23)$$

где $P_{\text{нагр}}$ – мощность, потребляемая нагревателем при нагреве до 150°C , кВт; $P_{\text{нц}}$ – мощность, потребляемая циркуляционным насосом, кВт; $P_{\text{вак}}$ – мощность, потребляемая вакуумными насосами, кВт.

Соответственно, время регенерации уменьшится и составит 2 часа. За это время установка будет потреблять:

$$P_{\text{нов}} = P_{\text{потр нов}} \cdot t_{\text{рег}} = 6,05 \cdot 2 = 12,1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (3.24)$$

где $P_{\text{нов}}$ – потребляемая мощность после внедрения нового оборудования, кВт·ч;
 $P_{\text{потр нов}}$ – потребляемая мощность, кВт; $t_{\text{рег}}$ – время регенерации.

Таким образом, стоимость затрат на электроэнергию составила, при учете, что регенерация проводится каждые 16 часов, то есть 547,5 раз за год:

$$\Sigma \text{э/э}_{\text{год нов}} = P_{\text{нов}} \cdot n_{\text{год}} \cdot C_{\text{э/э}} = 12,1 \cdot 547,5 \cdot 3,3 = 21861,68 \text{ руб}, \quad (3.25)$$

где $\Sigma \text{э/э}_{\text{год нов}}$ – новые затраты на электроэнергию, руб.

С введением нового оборудования, затраты на долив тосола уменьшатся, так как будет нагрев теплоносителя будет происходить до меньшей температуры. Таким образом затраты на долив тосола составят:

$$Z_{\text{т нов}} = V \cdot n_{\text{год}} \cdot C_{\text{т}} = 3 \cdot 6 \cdot 50 = 900 \text{ руб}, \quad (3.26)$$

где $Z_{\text{т нов}}$ – новые затраты на топливо, руб.; V – объем тосола, который необходимо доливать, л; $n_{\text{год}}$ – количество раз, которое необходимо доливать теплоноситель; $C_{\text{т}}$ – стоимость 1 литра теплоносителя, руб.

При термо-вакуумном способе регенерации замена цеолита необходима лишь раз в год [5], что составляет:

$$Z_{\text{ц}} = C_{\text{ц}} \cdot m_{\text{ц}} = 140 \cdot 22 = 3080 \text{ руб}. \quad (3.27)$$

где $Z_{\text{ц}}$ – затраты на цеолит, руб.; $C_{\text{ц}}$ – стоимость 1 кг цеолита, руб.; $m_{\text{ц}}$ – масса цеолита, кг.

В связи, с внедрением автоматизированного проведения регенерации цеолита в адсорберах, заработная плата прибориста, производившего регенерацию уменьшится. Уменьшенная заработная плата пойдет на оплату потребляемой мощности кранов с пневмоприводом, во время проведения регенерации.

Мощность, потребляемая кранами во время проведения регенерации, составляет 0,6 кВт; регенерация проходит в течении двух часов, соответственно, за это время установка потребит: 1,2 кВт·ч. Таким образом стоимость энергии отданной на управление регенерацией кранам с пневмоприводом составит:

$$\Sigma \varepsilon / \varepsilon_{\text{ПРИВ}} = P_{\text{ПРИВ}} \cdot n_{\text{ГОД}} \cdot C_{\varepsilon/\varepsilon} = 1,2 \cdot 547,5 \cdot 3,3 = 2166,91 \text{ руб.}, \quad (3.28)$$

где $\Sigma \varepsilon / \varepsilon_{\text{ПРИВ}}$ – затраты на электроэнергию при работы кранов, руб.; $P_{\text{ПРИВ}}$ – потребляемая мощность кранами с пневмоприводом, кВт·ч; $n_{\text{ГОД}}$ – количество регенераций в год; $C_{\varepsilon/\varepsilon}$ – стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч.

Таким образом ставка прибориста сократится на величину суммарных затрат энергии на работу кранов с пневмоприводом в год и с учетом на то, что больше нет необходимости проводить регенерацию. Ставка составит 13250 руб.

Премияльная оплата труда (30% от оклада), составляет:

$$Pr = 3П_{\text{ПР}} \cdot 0,3 = 13250 \cdot 0,3 = 3975 \text{ руб.}, \quad (3.29)$$

где Pr – премия, руб.; $3П_{\text{ПР}}$ – оклад, руб.

С учетом уральского коэффициента (15%), надбавка составляет:

$$PrK_{\text{УР}} = (3П_{\text{ПР}} + Pr) \cdot 0,15 = 2583,75 \text{ руб.}, \quad (3.30)$$

где $PrK_{\text{УР}}$ – премия с учетом уральского коэффициента, руб.

Таким образом, месячный фонд оплаты труда составляет:

$$3П = 3П_{\text{ПР}} + Pr + PrK_{\text{УР}} = 13250 + 3975 + 2583,75 = 19808,75 \text{ руб.}, \quad (3.31)$$

где $3П$ – новая заработная плата в месяц, руб.

Годовой фонд оплаты труда равен:

$$\Phi OT_{\text{ГОД}} = 3П \cdot n_{\text{МЕС}} = 19808,75 \cdot 12 = 237705 \text{ руб.}, \quad (3.32)$$

где $\Phi OT_{\text{ГОД}}$ – готовой фонд оплаты труда, при проведении мероприятий, руб.; $n_{\text{МЕС}}$ – количество месяце в году.

Учитывая социальные выплаты в размере 30%, заработная плата составит:

$$3_{\text{ЗП СТАР}} = \Phi OT_{\text{ГОД}} + 3_{\text{СОЦ}} = 237705 + 71311,5 = 309016,5 \text{ руб.}, \quad (3.33)$$

где $3_{\text{ЗП СТАР}}$ – затраты на заработную плату до внедрения планируемых мероприятий, руб.

Затраты на социальные выплаты вычисляются следующим образом:

$$3_{\text{СОЦ}} = \Phi OT_{\text{ГОД}} \cdot 0,3 = 71311,5 \text{ руб.}, \quad (3.34)$$

где $3_{\text{СОЦ}}$ – новые затраты на социальные выплаты, руб.

Потери, связанные с продувкой оборудования, при проведении регенерации окажутся равными нулю, так как будет использован термо-вакуумный способ регенерации цеолита.

3.6 Расчет итоговых показателей

В таблице 3.2 представлены РСЭО до и после внедрения мероприятий.

Таблица 3.2. РСЭО до и после внедрения мероприятий

Параметр	РСЭО до внедрения	РСЭО после внедрения
Амортизация, руб.	250 000	303 135,03
Затраты на электроэнергию, руб.	54 172,8	21 681,68
Затраты на эксплуатацию, руб.	33535	3980
Заработная плата сотрудников, руб.	383 848,92	309 016,5
Стоимость потерь газа, руб.	37120,5	-
Итого	758 677,22	637 813,21

В ходе проведения мероприятия себестоимость продукции снизилась, что позволило получить годовую экономию $\mathcal{E}_{\text{год}} = 120\,864,01$ руб.

3.7 Сводная таблица технико-экономических показателей

Технико-экономические показатели представлены в таблице 3.3. К основным затратам в планируемом мероприятии относится вакуумные насосы: пластинчато-роторный и диффузионный. Основная экономия реализуется на потребляемой мощности оборудования и заработной плате сотрудников предприятия.

Таблица 3.3. Основные технико-экономические показатели

Наименование показателя	Значение до модернизации	Значение после модернизации	Δ
Производительность, м ³ /ч	600	600	-
Капитальные вложения, руб.	-	350726,25	350726,25
Материальные затраты (в т.ч. на э/э), руб.	87707,80	25661,68	- 62046,12
Оплата труда, руб.	295268,40	237705,00	- 57563,40
Страховые взносы, руб.	88580,52	71311,50	- 17268,72
Прочие расходы, руб.	37120,50	-	-37120,50
Амортизационные отчисления, руб.	250000,00	303135,03	53135,03
Итого экономия в год, руб.	120864,01		

3.8 Расчет срока окупаемости проекта

Расчет срока окупаемости проекта производится следующим образом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\text{Э}_{\text{год}}} = \frac{350726,25}{120864,01} = 2,9 \text{ года} \approx 2 \text{ года } 11 \text{ месяцев.} \quad (3.35)$$

Исходя из полученных временных рамок, можно сделать вывод о целесообразности проведения подобного рода работ по модернизации установки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении ВКР была осуществлена разработка автоматизированной регенерации цеолита в адсорберах. Это происходит при выполнении разработанного алгоритма управления кранами с пневмоприводом.

В ходе работы осуществлено решение поставленных задач, для достижения целей, выдвинутых при формировании проекта разработки. Решена задача измерения точки росы газа на выходе, путем подключения измерителя влажности газов на выходной газопровод, с типом сигнала 4...20 мА. Этот измерительный прибор является сигналом к началу регенерации цеолита в адсорберах.

Также приведена и рассчитана вакуумная система, приведен анализ сравнения двух типов регенерации, термической и термовакуумной, из которого можно сделать вывод о том, что при проведении термовакуумной регенерации, время на регенерацию адсорбента уменьшается, становятся равные нулю потери, связанные с продувкой адсорберов при проведении термической регенерации, так как при термовакуумной продувка не требуется.

В структуре системы автоматизации отражены основные типы сигналов, подключаемых к ПЛК. На структуре отображено подключение ПЛК к внешним компьютерам, то есть центральному посту управления, через сервер по протоколу Industrial Ethernet (Profinet). Это связано с тем, что протокол Profinet является одним из базовых для контроллеров фирмы Siemens. Позволяется связывать с центрального поста управления до установки в режиме реального времени и получать необходимые данные. Также повышает доступность сети и удобство связи со многими ПК. Панель оператора для установки соединяется с ПЛК при помощи встроенного протокола Profibus по интерфейсу RS-485.

Далее был произведен основной выбор оборудования для установки – это дискретные датчики давления адсорберов, давления теплоносителя, датчик уровня теплоносителя. К аналоговым сигналам относятся давление, измеряемое на входе

выходе установки, температура адсорберов, температура теплоносителя и показание измерителя влажности газов на выходе.

Для установки, также, составлена функциональная схема автоматизации, из которой можно сделать вывод о количестве входов и типе входов и выходов ПЛК установки. В качестве исполнительных устройств системы выступают двигатели циркуляционного насоса, пластинчато-роторного насоса и диффузионного насоса блока вакуумирования. Также катушки распределителей, которые управляют потоками газа для кранов с пневмоприводом выступают в роли исполнительных механизмов. Для работы пневмоэлементов системы была разработана схема пневматическая принципиальная. На схеме обозначены краны и вентили, а также распределители управления. Питание системы происходит с выхода блока осушки, через дополнительный газовый редуктор для снижения давления пневмопитания.

Код программы был разработан на языке программирования LAD в программной среде TIA Portal, которая является стандартным ПО для контроллеров фирмы Siemens. Также разработана система визуализации на панели оператора. Установка условно разделена на три блока: блок осушки, в который входят адсорберы и входные краны установки; блок вакуумирования, с пластинчато-роторным насосом для предварительного создания вакуума, и диффузионным насосом, включающимся при достижении давления в 5 Па в вакуумной системе; блок подготовки теплоносителя с циркуляционным насосом, нагревателем и вентилями подачи теплоносителя.

Таким образом, была реализована автоматизированная регенерация цеолита, с возможностью визуализации процесса осушки газа, срабатывания двигателей и открытия кранов.

Также доказано о целесообразности использования блока вакуумирования для создания вакуума при одновременном нагреве цеолита при его регенерации. Приведены схемы потребления энергии и сделаны экономические выводы о выгоде внедрения таких разработок. Срок окупаемости подобного мероприятия составляет 2 года и 11 месяцев.

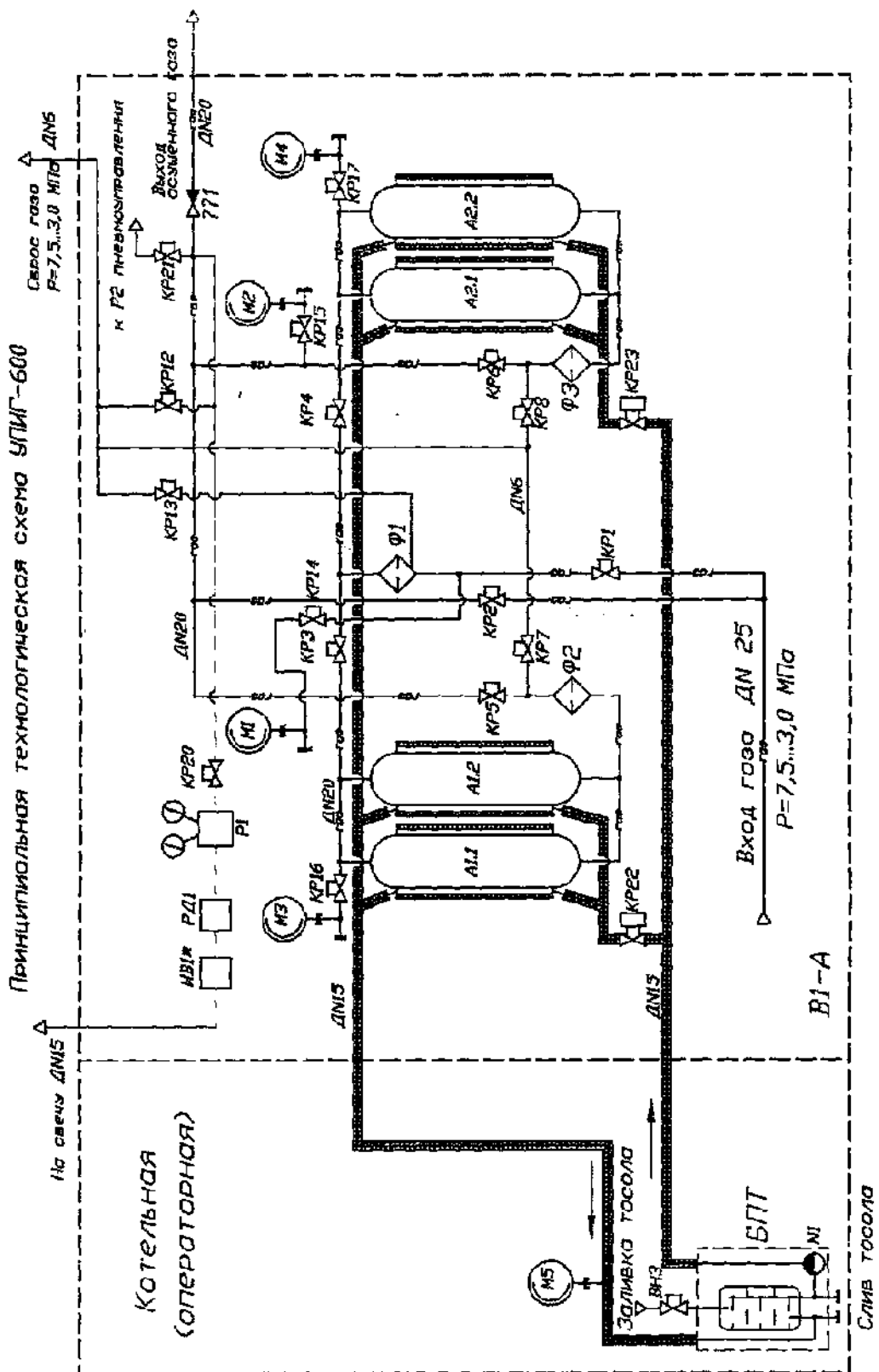
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция № 03-70-032 по эксплуатации установки импульсного газа УПИГ-600/сост. Главный инженер челябинского ЛПУМГ А.А.Черкас. – Челябинск: изд. ЛПУМГ, 2018. – 13 с.
2. Установка подготовки импульсного газа УПИГ-600. Руководство по эксплуатации / З.А. Ахметов. – Екатеринбург: Изд-во Уромгаз, 2009. – 32 с.
3. Жданова Н.В. Осушка углеводородных газов / Н.В.Жданова, А.Л.Халиф. – Москва: Изд-во Химия, 1984. – 192с.
4. Развитие технологий глубокой адсорбционной осушки природного газа в установках подготовки импульсного газа / Ю.Л. Кузнецов, А.В. Бураков, А.С. Перминов, С.Ю. Титова, С.Э. Шарифова // Экспозиция Нефть газ. – 2018. - №5(65). – С. 73 – 75.
5. Казаченко А.Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов / А.Н.Казаченко. – М.: Нефть и газ, 1999. – 463 с.
6. Понятие импульсного газа и точки его отбора на КС. Установка подготовки импульсного газа (УПИГ): принципиальная схема, состав оборудования, его назначение. - <https://helpiks.org/6-83624.html>.
7. RU 2 239 123 C1 МПК F17D 1/00(2004.10) F17D 3/00 - Установка подготовки импульсного газа для пневмосистем запорно-регулирующих устройств магистральных газопроводов / Л.Г. Кузнецов, В.Л. Борохович. - 2003113363/06; заявл. 04.29.2003; опубл. 10.27.2004, - 4 с.
8. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – Москва: Изд-во Горячая линия-Телеком, 2009. – 206 с.
9. KSB, Расчет параметров центробежных насосов. Методические указания / сост. И.Н. Игнатьев. – Курск: Изд-во KSB, 2012. – 214 с.
10. Общие методы конструирования вакуумных систем - Автоматизированные системы управления вакуумными установками. - <http://www.pro-vacuum.ru/>.

11. Расчет вакуумных систем: учебное пособие. Методические указания / сост. А.В. Юрьева. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 114 с.
12. Оборудование Siemens. - <https://www.siemens-pro.ru/>
13. Расчет RC цепи. - <https://www.meandr.ru/rc-tsep>.
14. Макаров И.М. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. Книга 2. / И.М. Макаров. – Москва: Высшая школа, 1986. – 175 с.
15. Газпром трансгаз Екатеринбург. История развития. - <https://ekaterinburg-tr.gazprom.ru/>.
16. Попп Т.В. Определение экономической эффективности технических решений в дипломных проектах: метод. указания. – Екатеринбург: УрГУПС, 2014. – 30с.
17. Амортизационная группа. - Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 27.12.2019) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы".

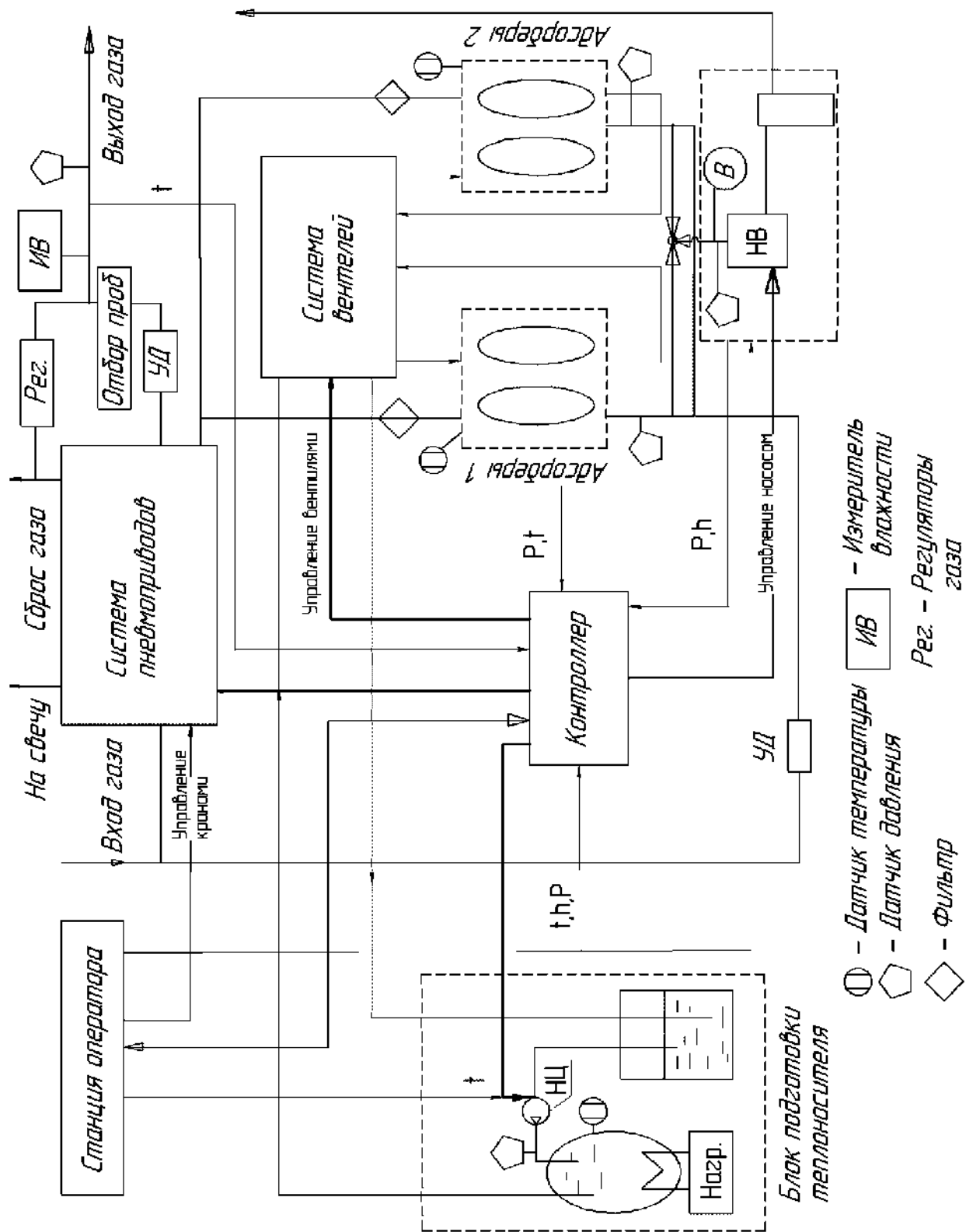
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Принципиальная технологическая схема УПИГ



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Упрощенная функциональная схема системы автоматизации

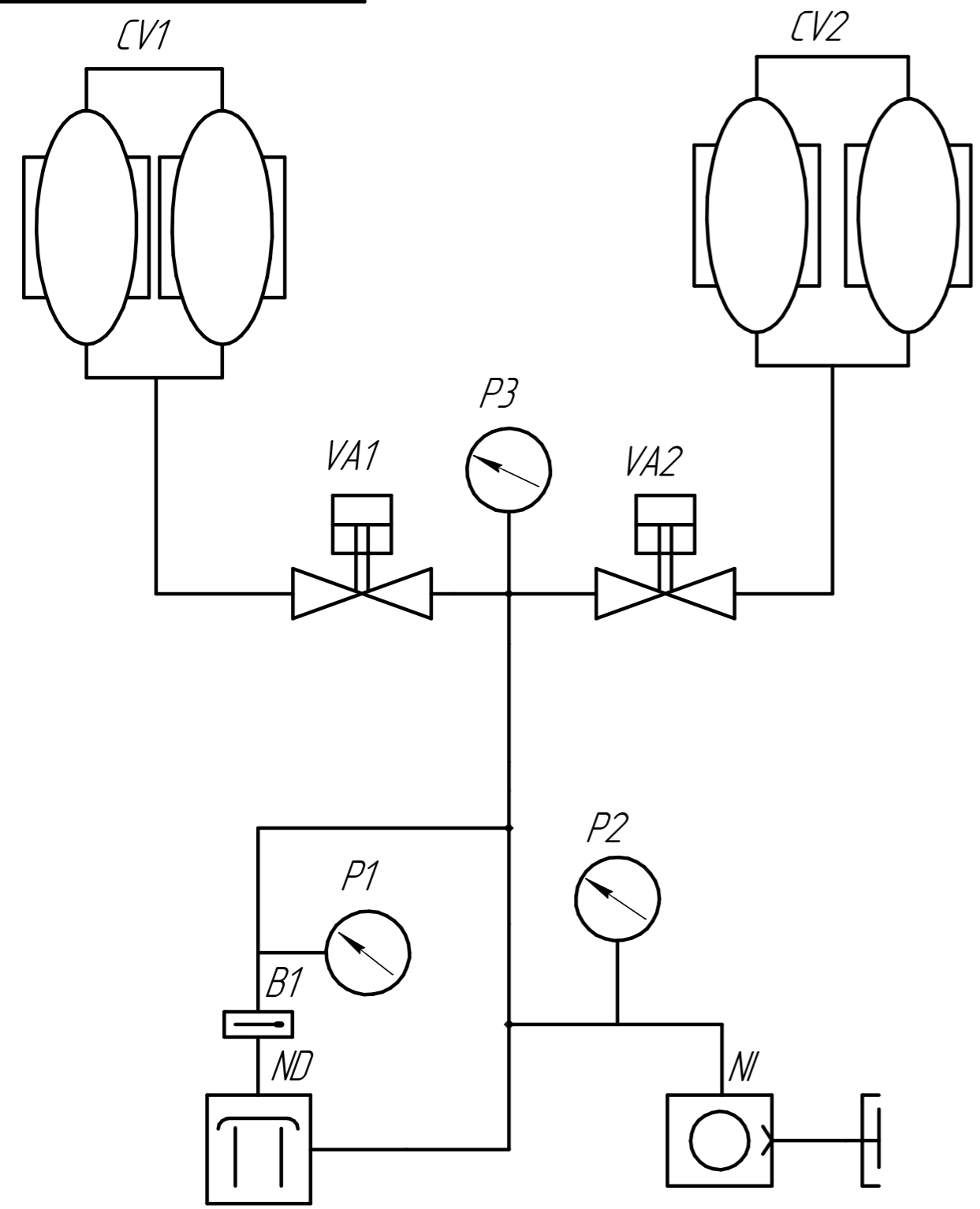


ПРИЛОЖЕНИЕ В

Вакуумная схема

150304.2020.575.00.01.B2

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № д/д
Взам. инв. №
Инв. № инв.
Подп. и дата
Инв. № подл.



Поз. Обозначение	Наименование	Количество	Примечание
ND	Диффузионный насос НВДМ-250	1	
N	Пластинчато-роторный насос 2НВР-2ДМ	1	
B1	Диффузионный отражатель	1	
P1, P2	Вакуумметр ТВ 310	2	
P3	Вакуумметр электроконтактный ДВ2005Ф	1	
VA1, VA2	Кран с пневмоприводом VZBA	2	
CV1, CV2	Вакуумная камера (адсорбер)	2	

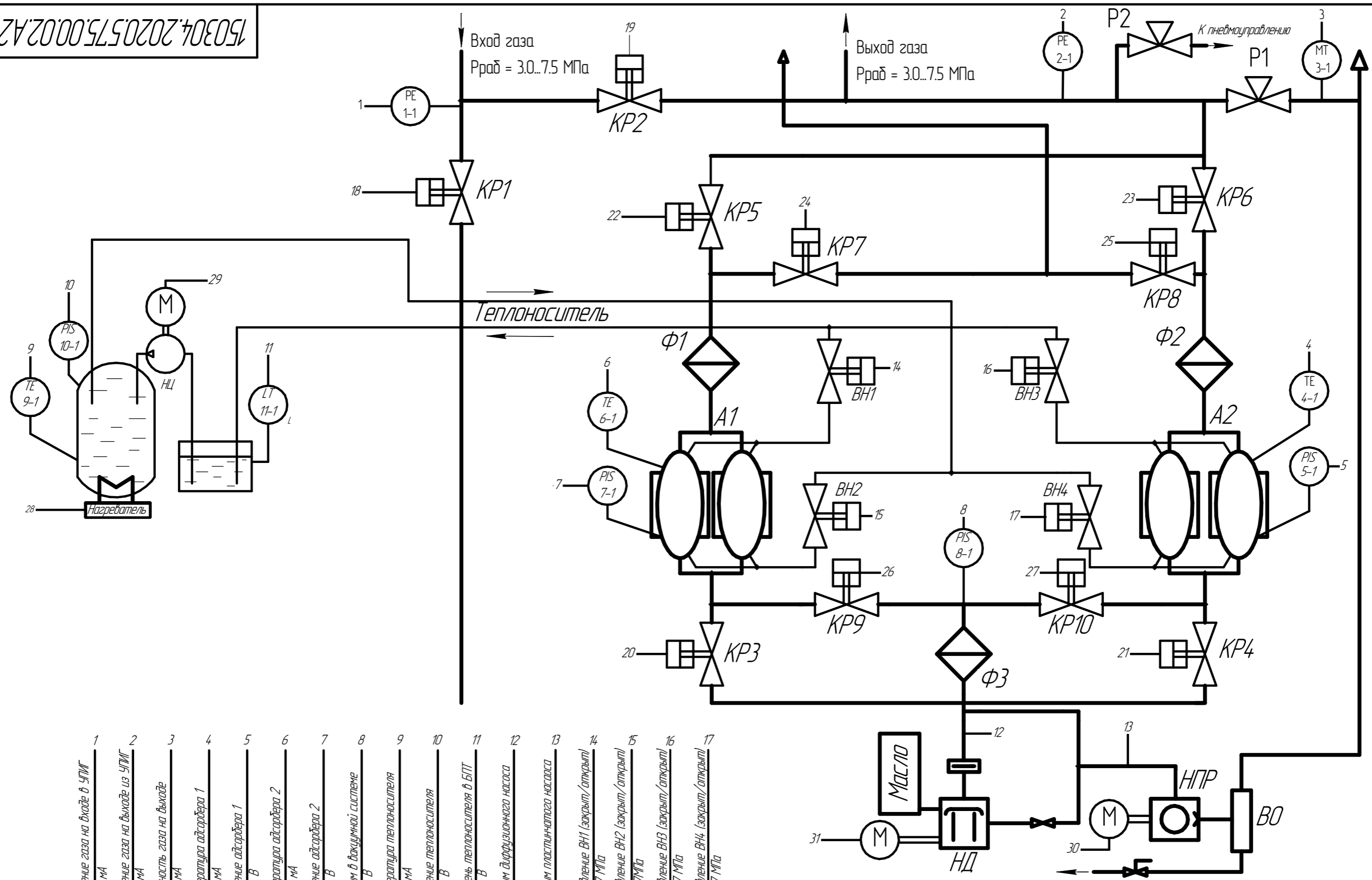
				150304.2020.575.00.01.B2			
				УПИГ			
				Вакуумная схема			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Мурамов Д.А.					
Проб.		Лисовская Т.А.					
Т.контр.					Лист	Листов	1
Н.контр.					ЮУрГУ		
Утв.					Кафедра МИА		
				Копировал			
				Формат А3			

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Функциональная схема системы автоматизации

150304.2020.575.00.02.A2

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Давление газа на входе в УГИГ 4...20 мА	Давление газа на выходе из УГИГ 4...20 мА	Влажность газа на выходе 4...20 мА	Температура адсорбера 1 4...20 мА	Давление адсорбера 1 0/24 В	Температура адсорбера 2 4...20 мА	Давление адсорбера 2 0/24 В	Вакуум в вакуумной системе 0/24 В	Температура теплоносителя 4...20 мА	Давление теплоносителя 0/24 В	Уровень теплоносителя в БПТ 0/24 В	Вакуум диффузионного насоса	Вакуум пластинчатого насоса	Управление ВН1 (закрыт/открыт) 0/0,7 МПа	Управление ВН2 (закрыт/открыт) 0/0,7 МПа	Управление ВН3 (закрыт/открыт) 0/0,7 МПа	Управление ВН4 (закрыт/открыт) 0/0,7 МПа

Приборы по месту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
				ТИА ТА1		ТИА ТА2		ТИА ТТ				PI В1	PI В1	YS ПР1	YS ПР2	YS ПР3	YS ПР4
Шкаф автоматики ПЛК	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI
	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI	AI
	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO	DO
	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM	COM

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Мурамов Д.А.			06.05.20
Проб.	Лисовская Т.А.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

150304.2020.575.00.02.A2

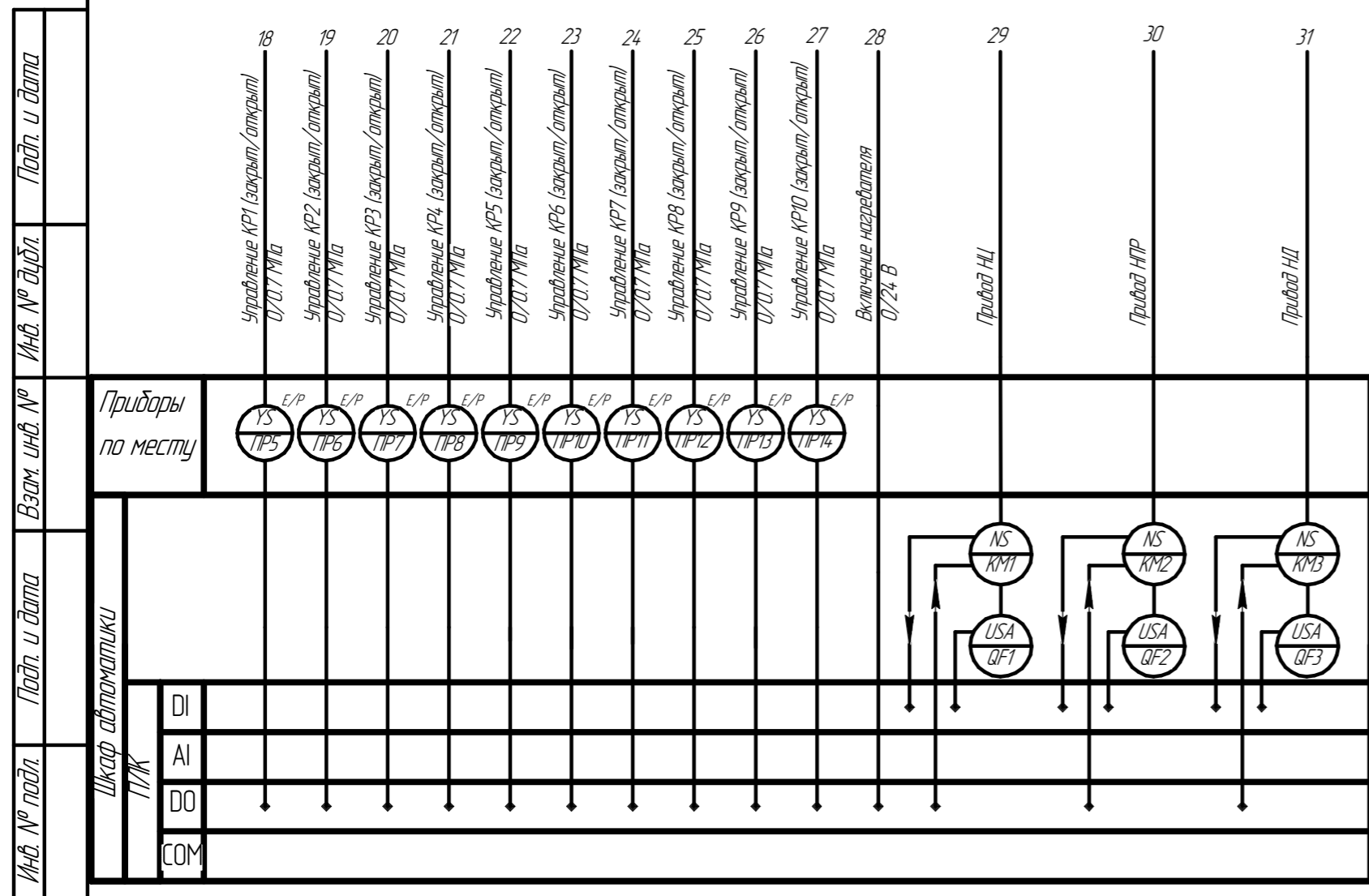
УГИГ
Схема автоматизации функциональная

Лит.	Масса	Масштаб
Лист 1	Листов 2	

ЮУрГУ
Кафедра МиА
Формат А3

Копировал

КР – кран с пневмоприводом;
ВН – вентиль с пневмоприводом;
А – пара адсорберов;
Ф – фильтр;
НД – насос диффузионный;
НПР – насос пластинчато-роторный;
НЦ – насос циркуляционный;
ВО – водоотделитель;
Р – редуктор газовый.



1. Обеспечить реализацию человеко-машинного интерфейса с использованием панели оператора, размещенной в шкафу автоматики.
2. Обеспечить возможность взаимодействия со SCADA-системой, размещенной на внешнем ПК, по протоколу Ethernet.
3. YS – катушка управления пневмораспределителем (ПР).

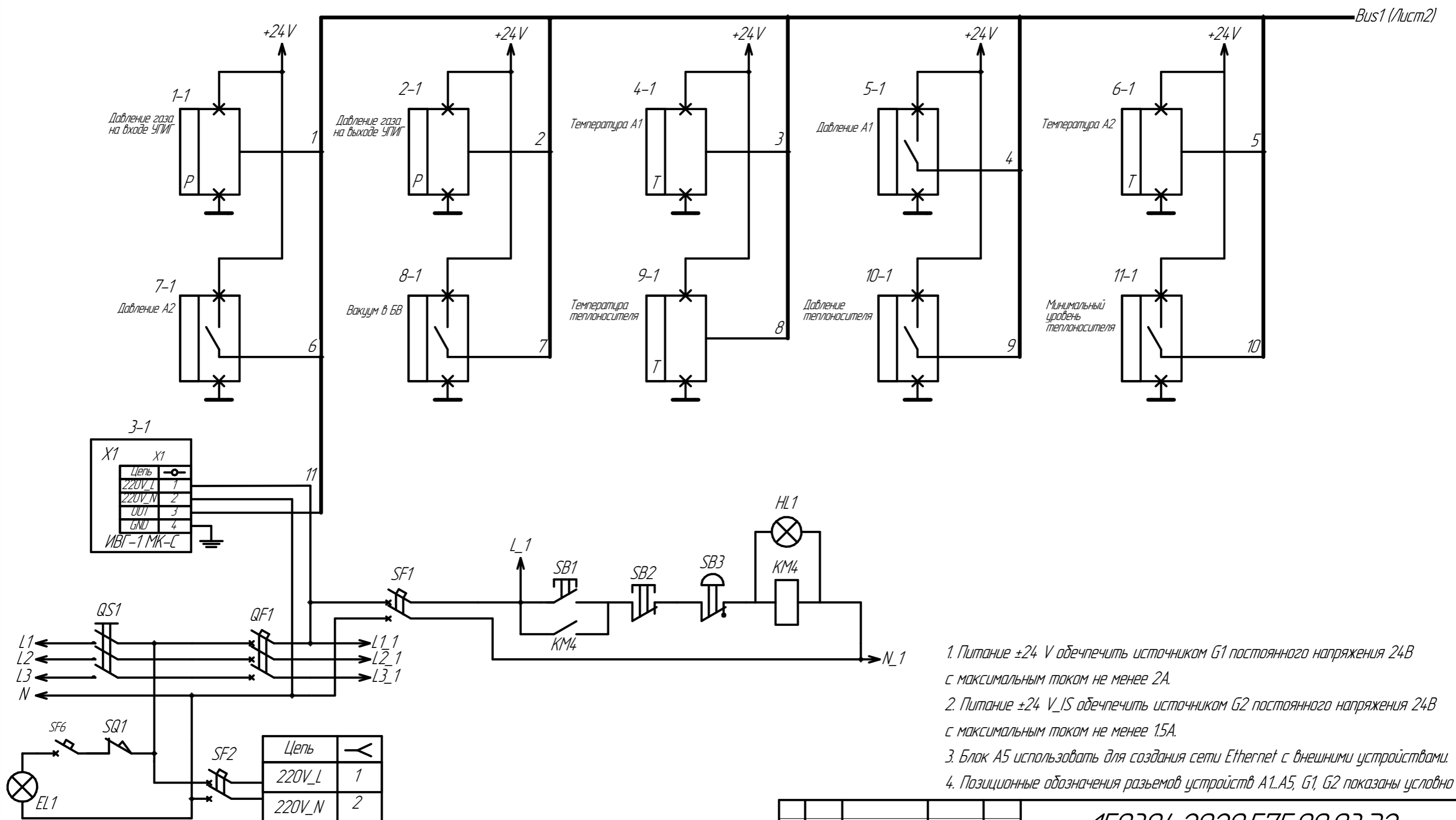
Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Схема электрическая принципиальная

150304.2020.575.00.03.32

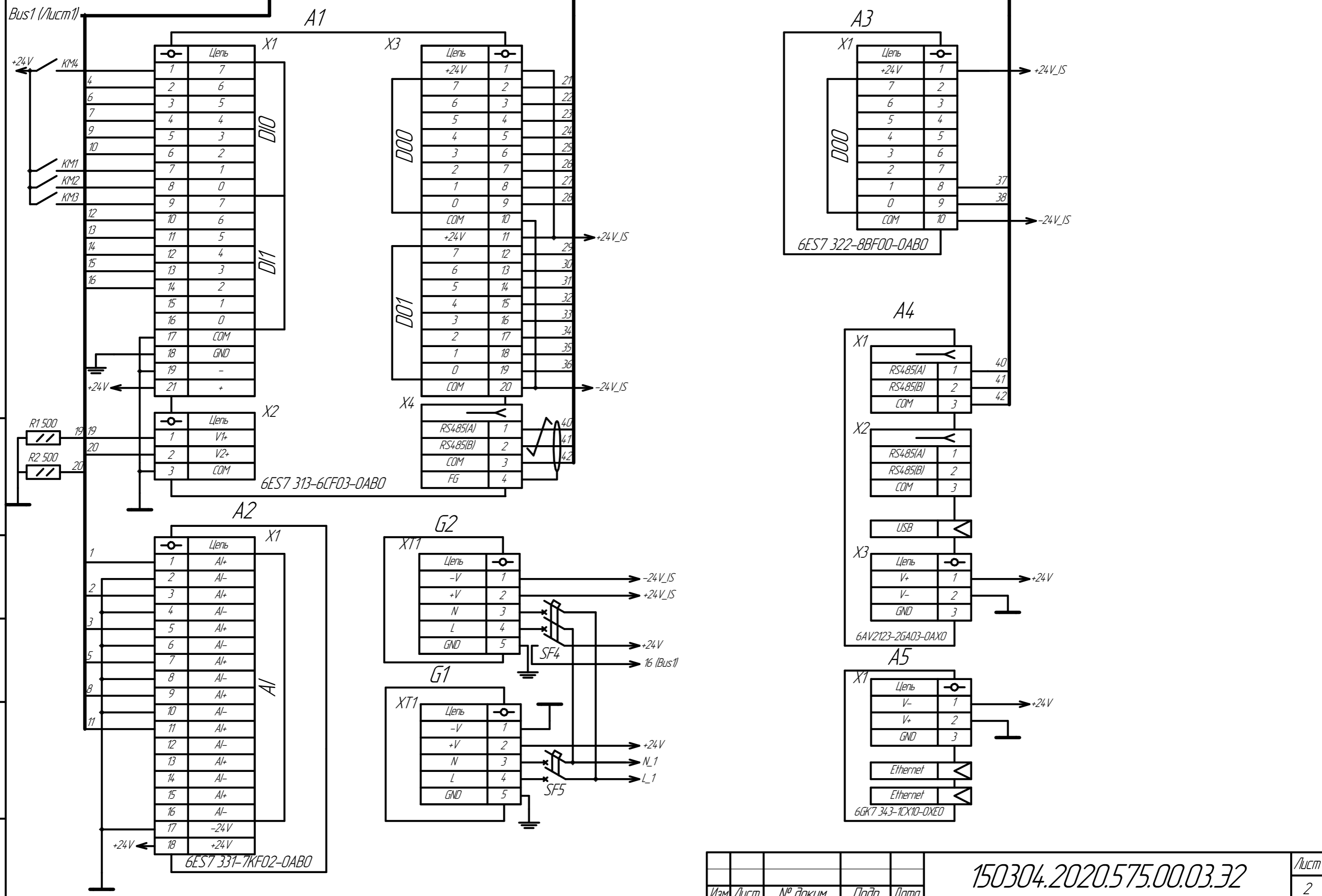
Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дораб.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.



1. Питание ± 24 V обеспечить источником G1 постоянного напряжения 24V с максимальным током не менее 2A.
2. Питание ± 24 V_{IS} обеспечить источником G2 постоянного напряжения 24V с максимальным током не менее 15A.
3. Блок A5 использовать для создания сети Ethernet с внешними устройствами.
4. Позиционные обозначения разъемов устройств A1..A5, G1, G2 показаны условно

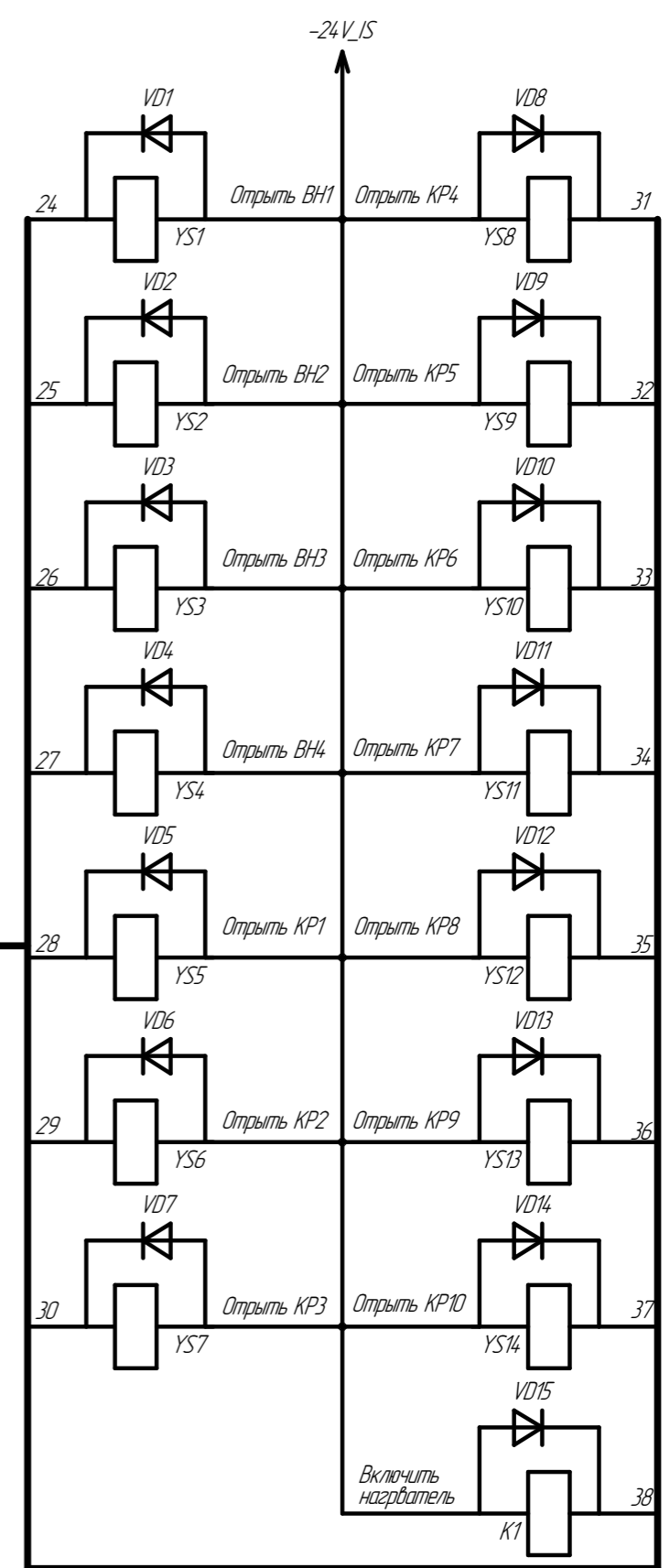
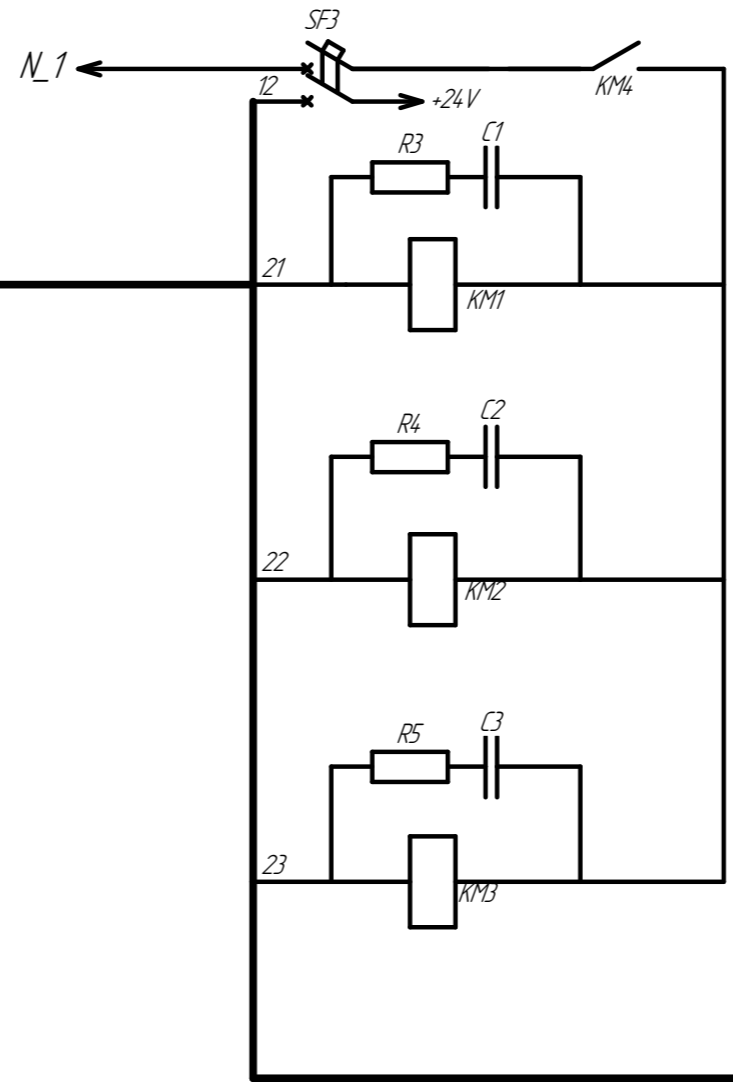
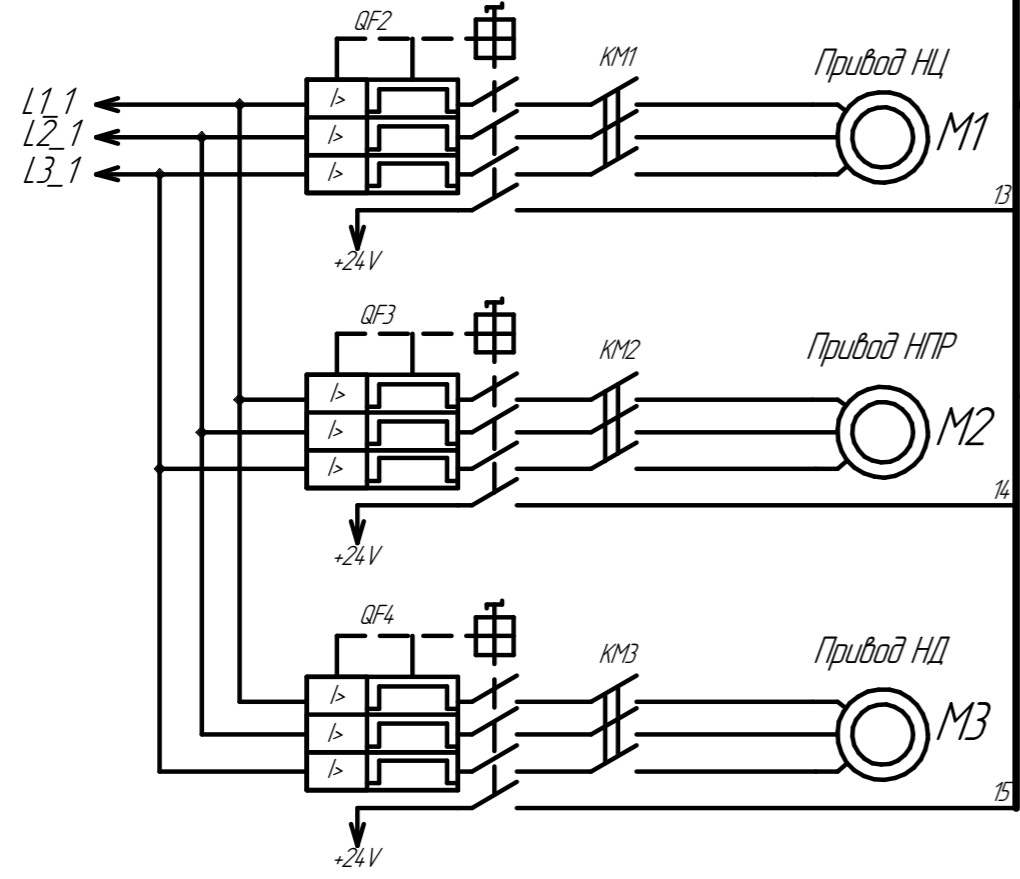
150304.2020.575.00.03.32			
УГИГ			
Схема электрическая принципиальная			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.
Разраб.	Мурамов Д.А.	10.05.20	
Проб.	Лисовская Т.А.		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			
Лист	1	Листов	3
ЮУрГУ Кафедра МИА			
Формат А3			

Копировал



Инд. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инд. № дубл.
Инд. № подл.	Подп. и дата

150304.2020.575.00.03.32



Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №
Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №
Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №
Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №
Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №	Изм. №

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

150304.2020.575.00.03.32

Копировал Формат А3

Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
	<i>Контроллер</i>		
A1	CPU 313C-2 DP	1	
	<i>Модуль аналогового ввода</i>		
A2	Siemens AI 8x12BIT	1	
	<i>Модуль дискретного вывода</i>		
A3	Siemens DO 8x24 VDC/0.5A	1	
	<i>Панель оператора</i>		
A4	KTP700 Basic DP	1	
	<i>Интерфейсный модуль</i>		
A5	CP 343-1 Leap_1	1	
	<i>Источники питания</i>		
G1, G2	БП2-24V DC	2	
	<i>Лампа сигнальная</i>		
HL1	BLS10-ADDS-230-K6	1	
	<i>Кнопки</i>		
SB1	XB7NA21	1	
SB2	XB7NA42	1	
SB3	PI Testop E-STOP	1	
	<i>Автоматы защиты</i>		
QF1	3P D16 ABB S203	1	
QF2-QF4	GV2ME14	3	

150304.2020.575.00.03.ПЭЗ

Изм/Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Мурамов Д.А.		10.05.
Пров.	Лисовская Т.А.		
Н.контр.			
Утв.			

УПИГ
Перечень элементов

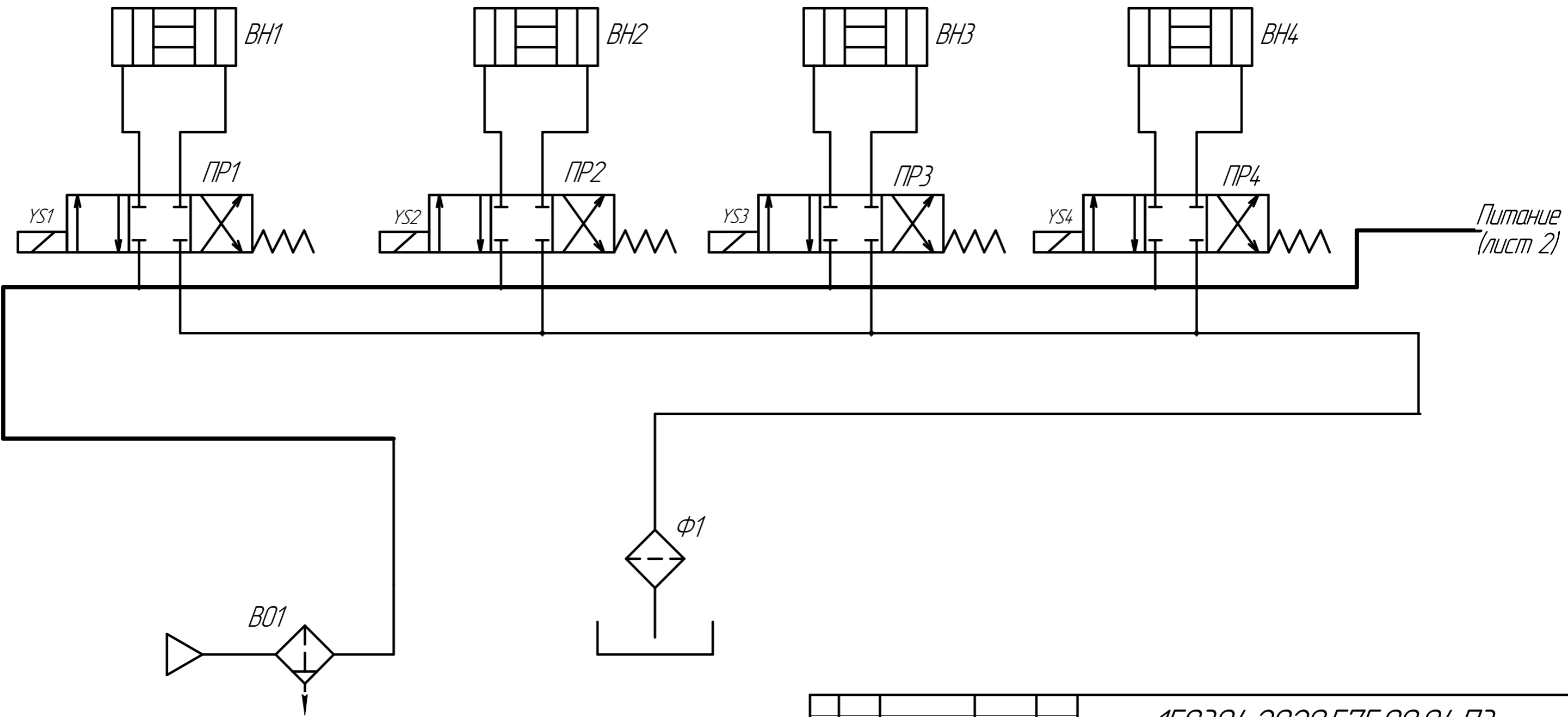
Лит.	Лист	Листов
	1	2
Кафедра МИА ЮУрГУ		

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Схема пневматическая принципиальная

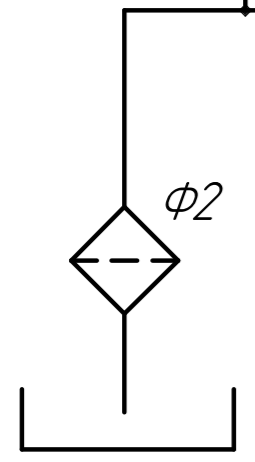
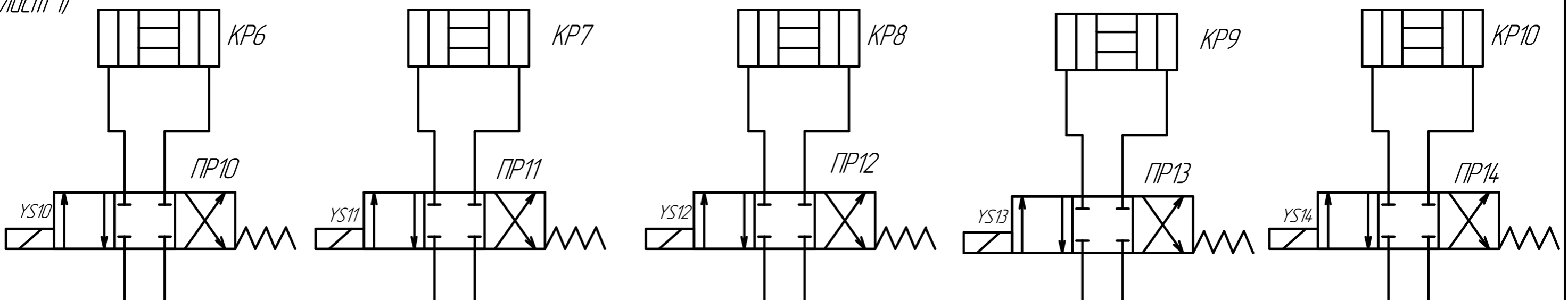
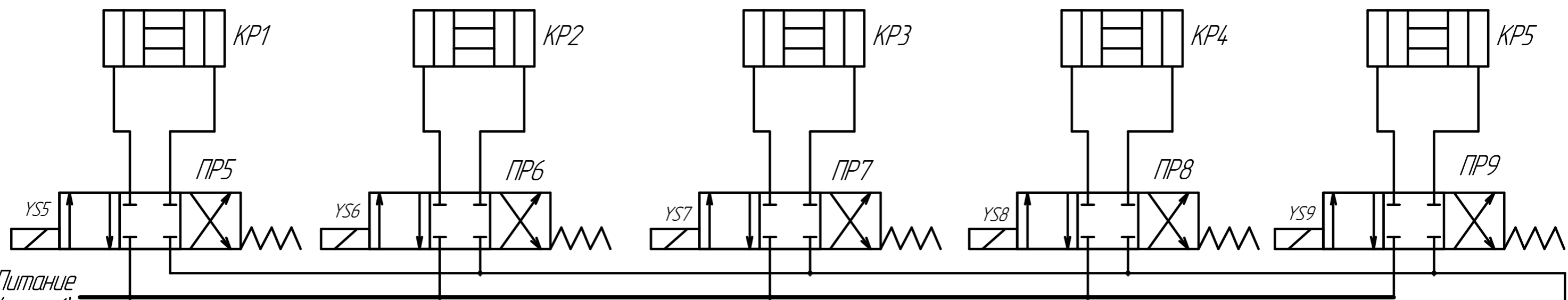
150304.2020.575.00.04.ПЗ

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инд. № докл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инд. № подл.



				150304.2020.575.00.04.ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	УПИГ Схема пневматическая принципиальная	
Разраб.	Мурамов Д.А.					
Проб.	Лисовская Т.А.				Лист	1
Т.контр.					Листов	3
И.контр.					Кафедра МиА ЮУрГУ	
Утв.					Копировал Формат А3	

150304.2020.575.00.04.П3



Инд. № подл.	
Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инд. № дораб.	
Подп. и дата	

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

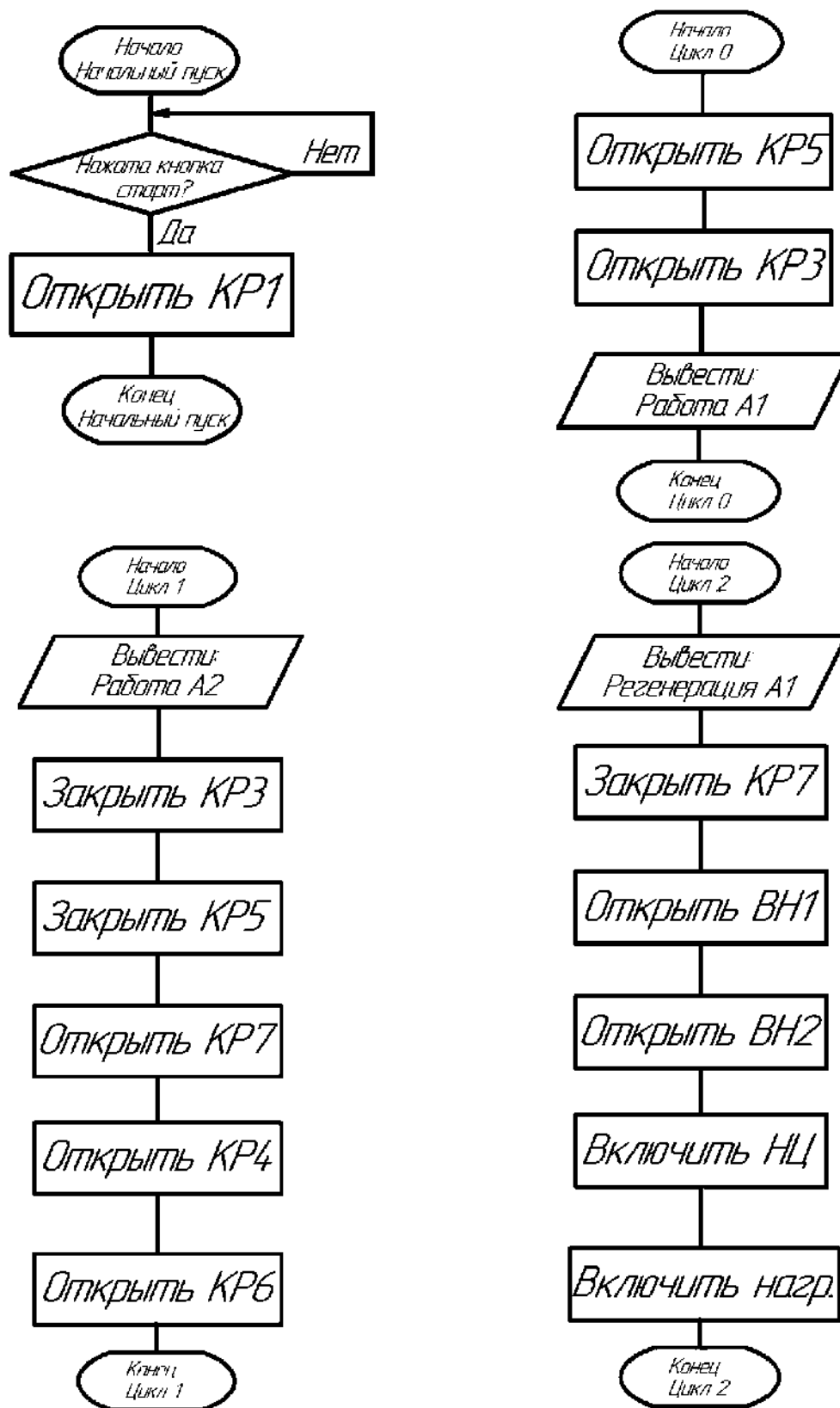
150304.2020.575.00.04.П3

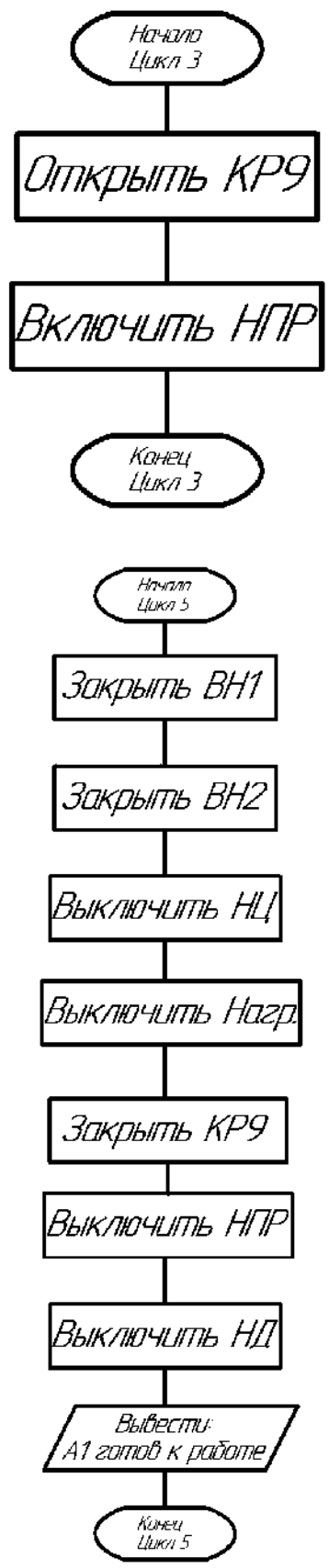
Копировал

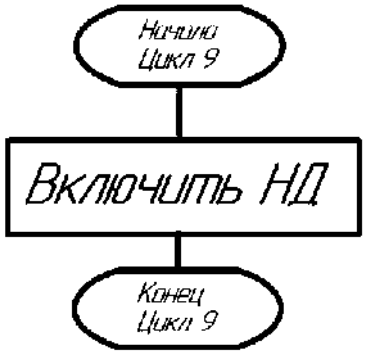
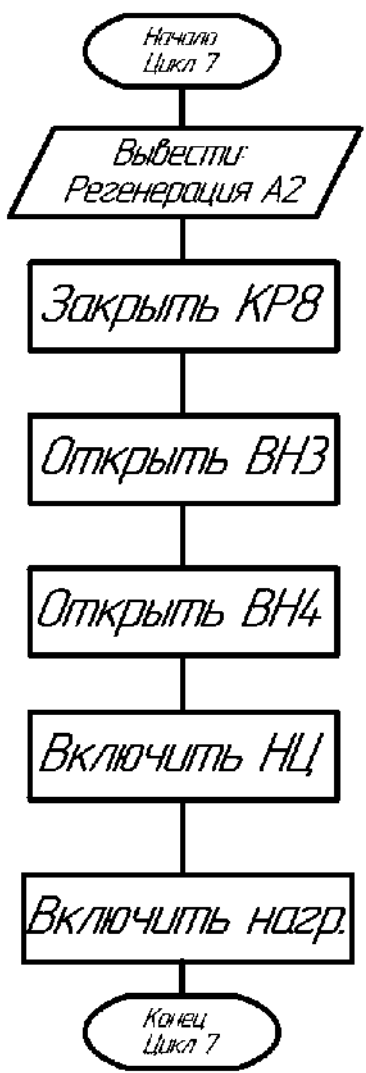
Формат А3

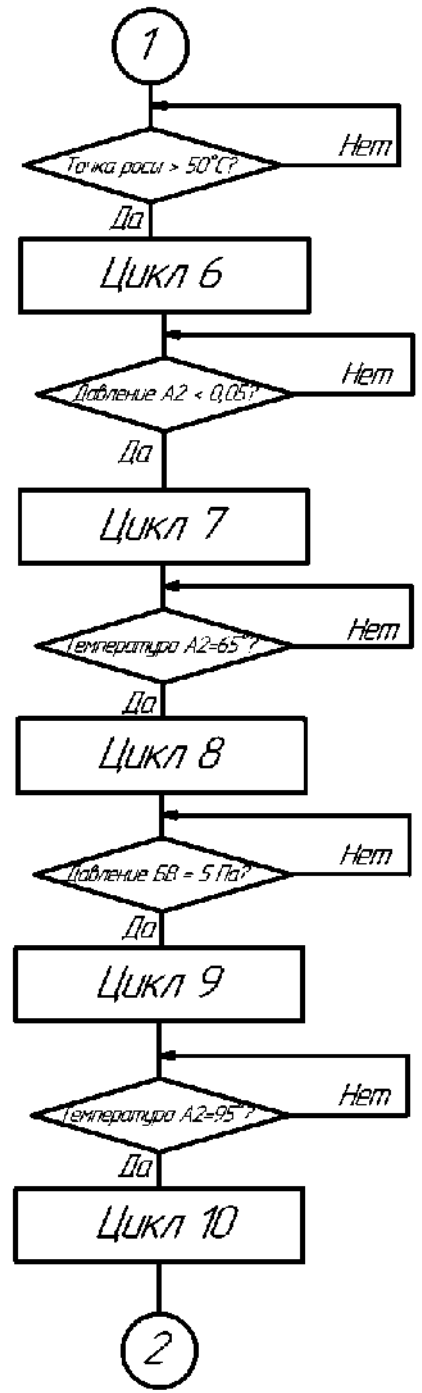
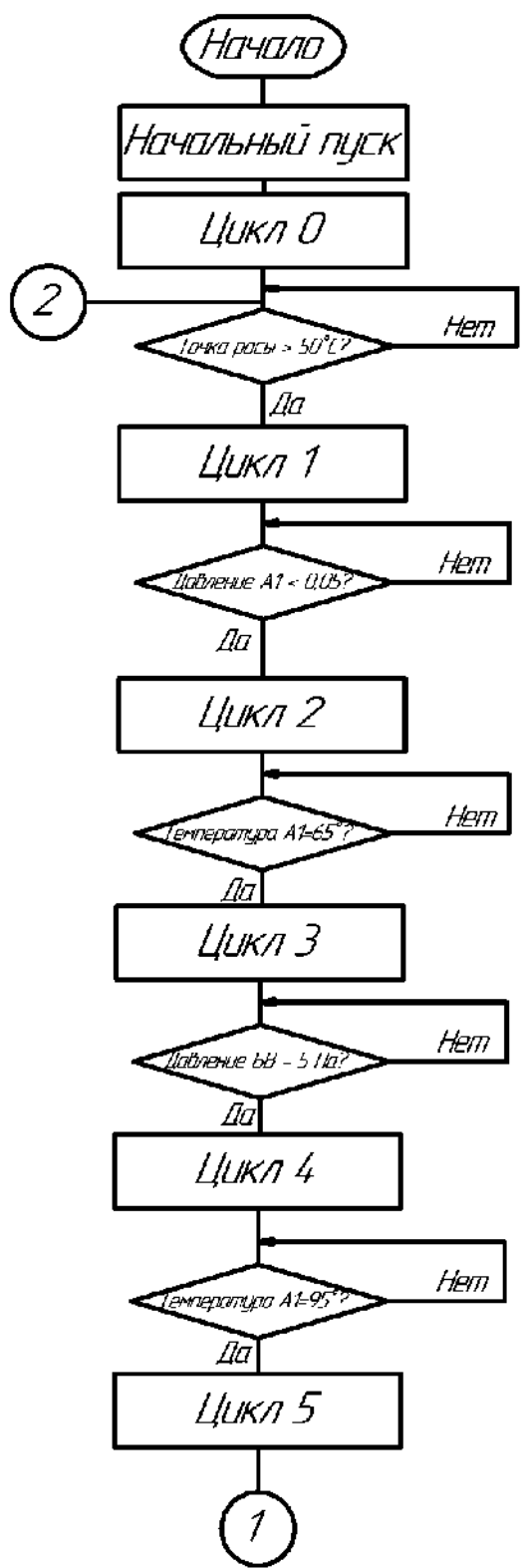
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Алгоритм работы системы







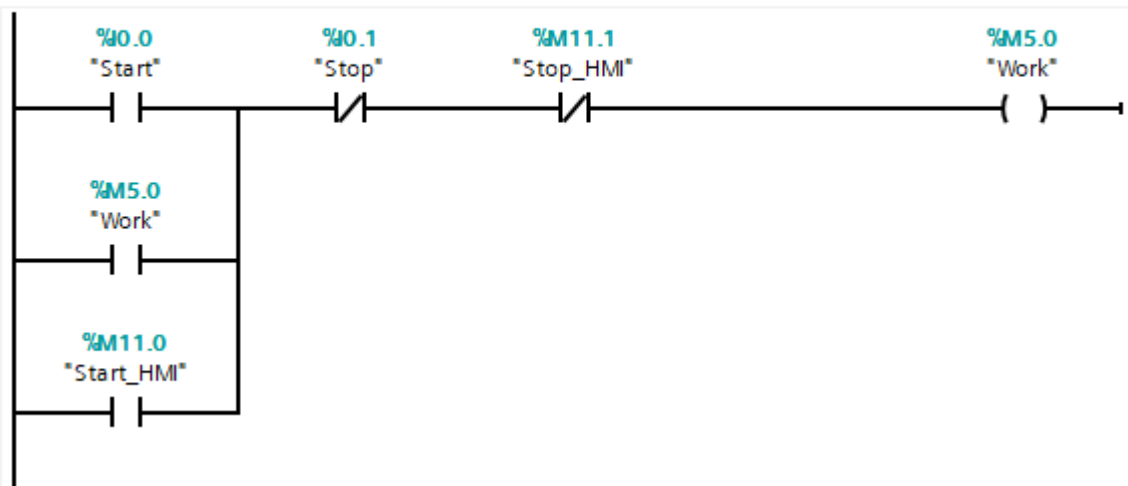


ПРИЛОЖЕНИЕ И

Код программы на языке LAD

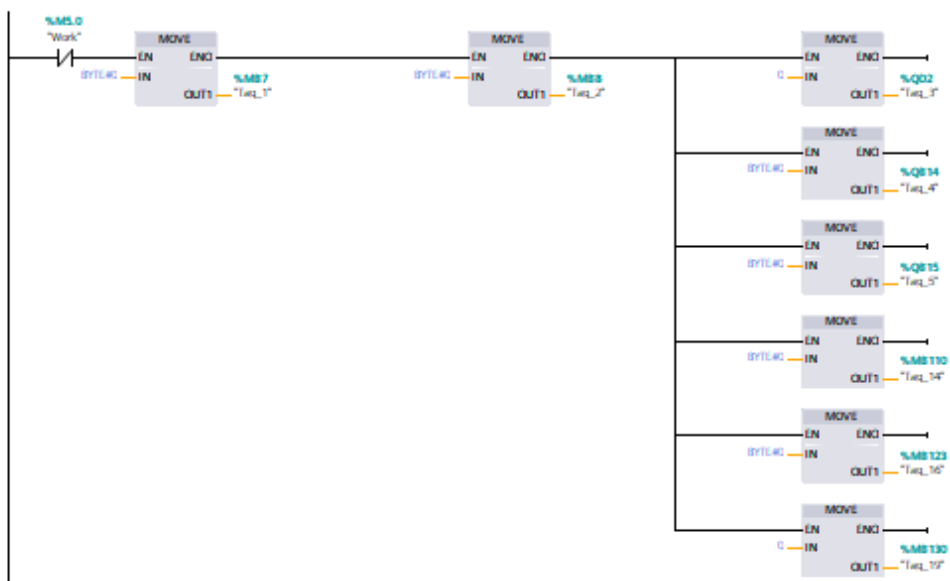
Network 1: Старт/стоп

Comment



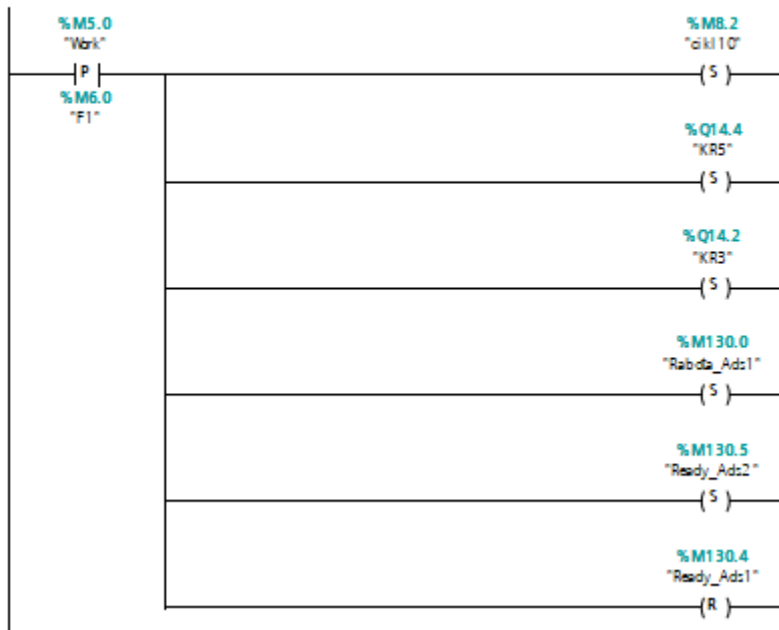
Network 2: Сброс сигналов

Comment



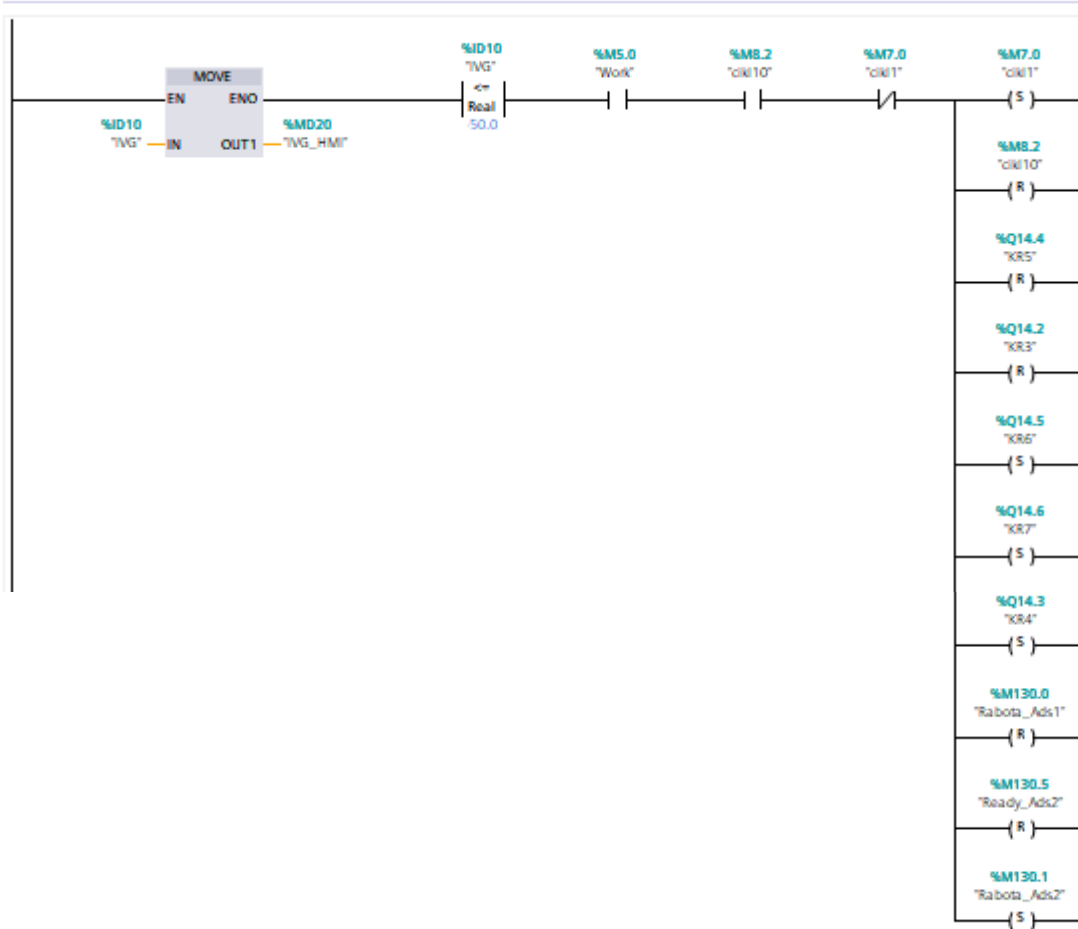
Network 3: Начальный пуск

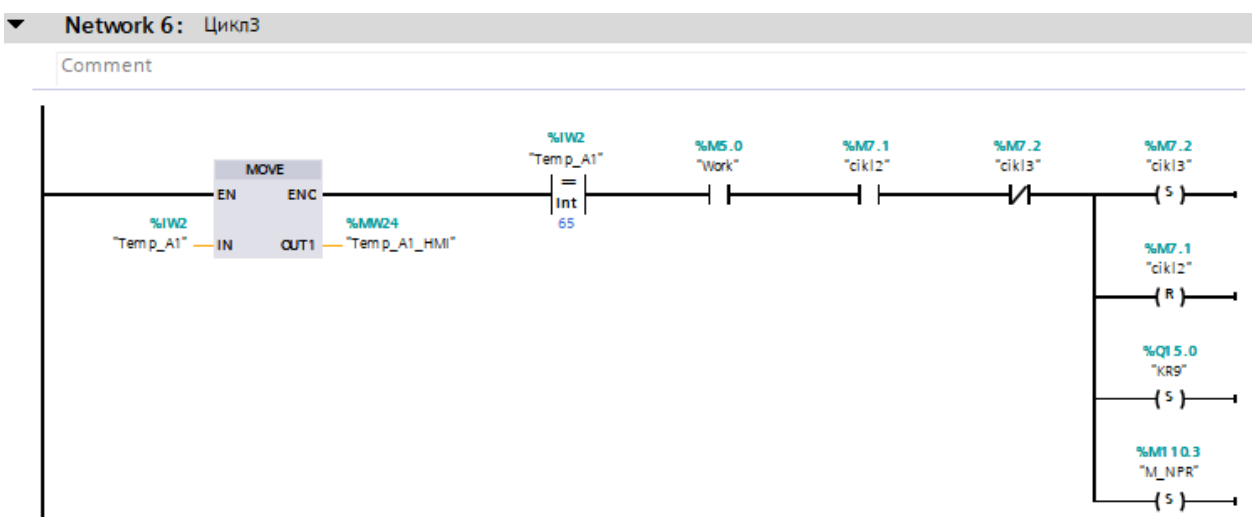
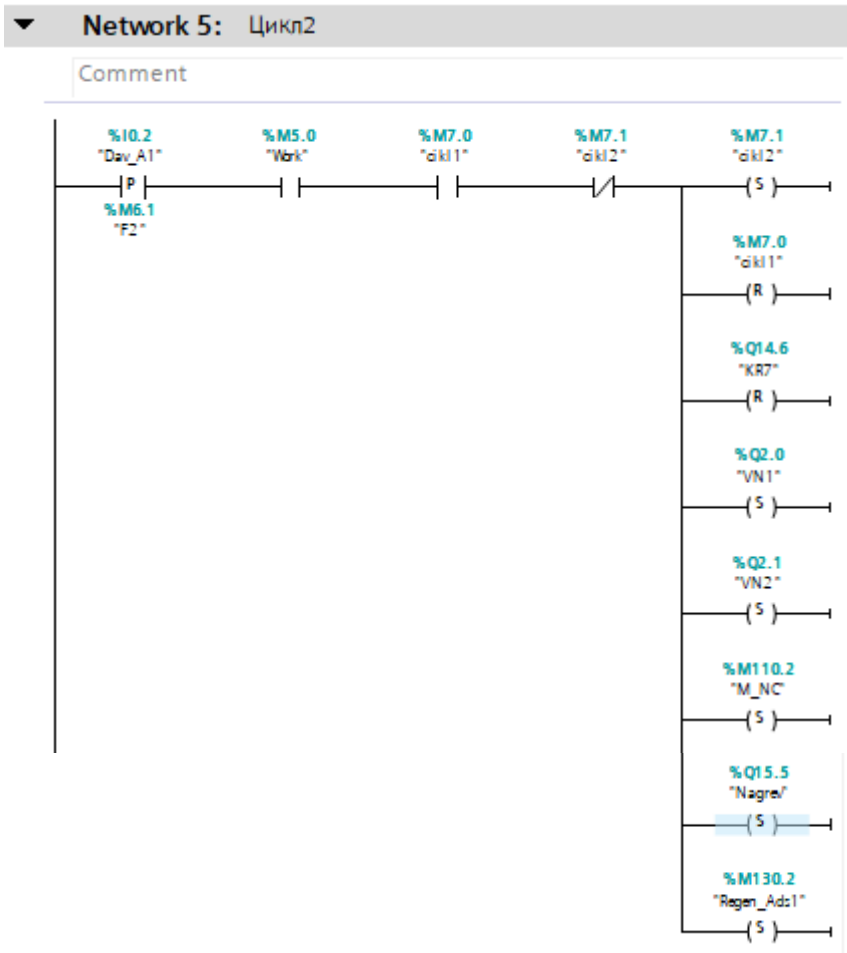
Comment



Network 4: Цикл1

Comment





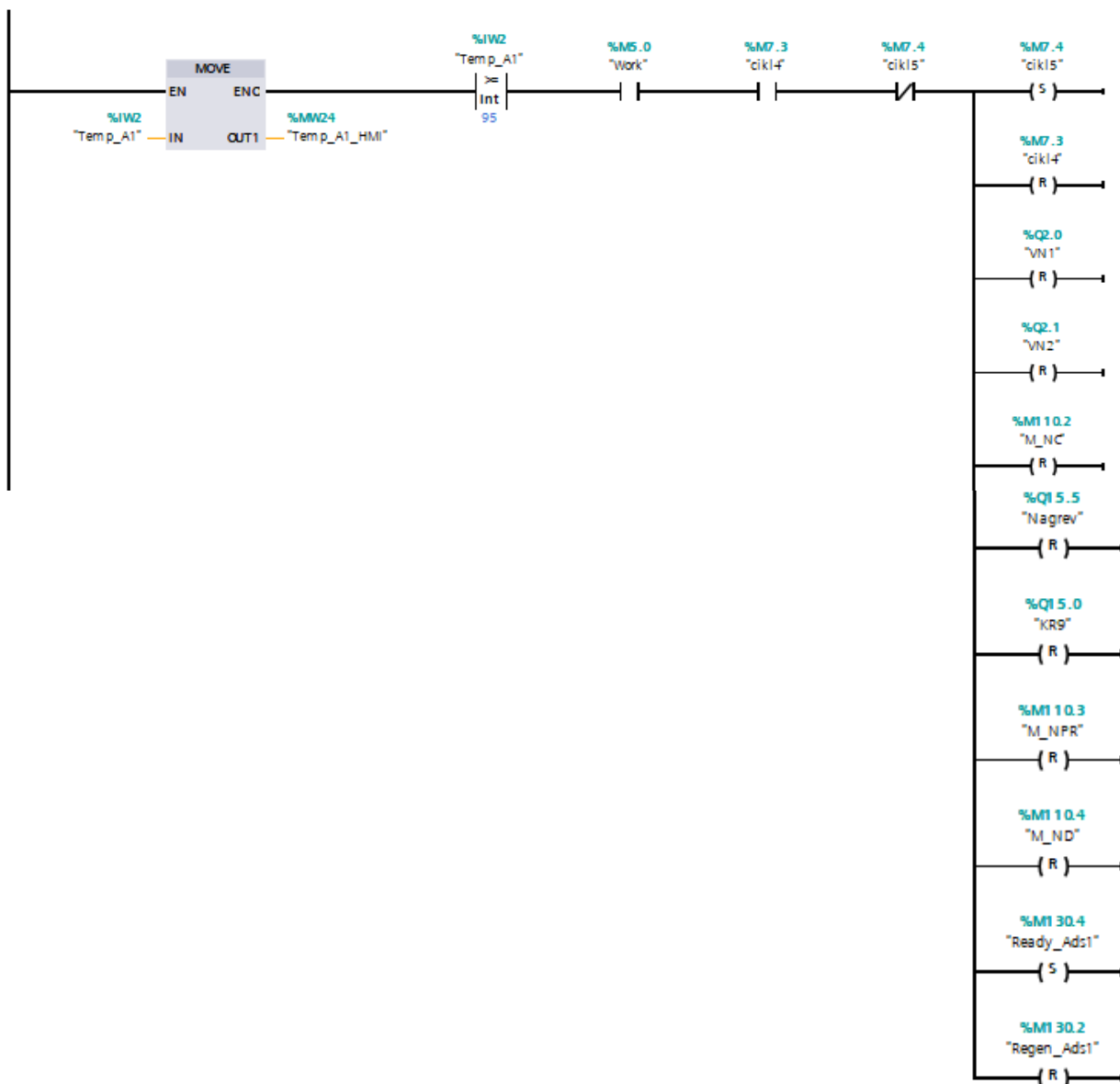
Network 7: Цикл4

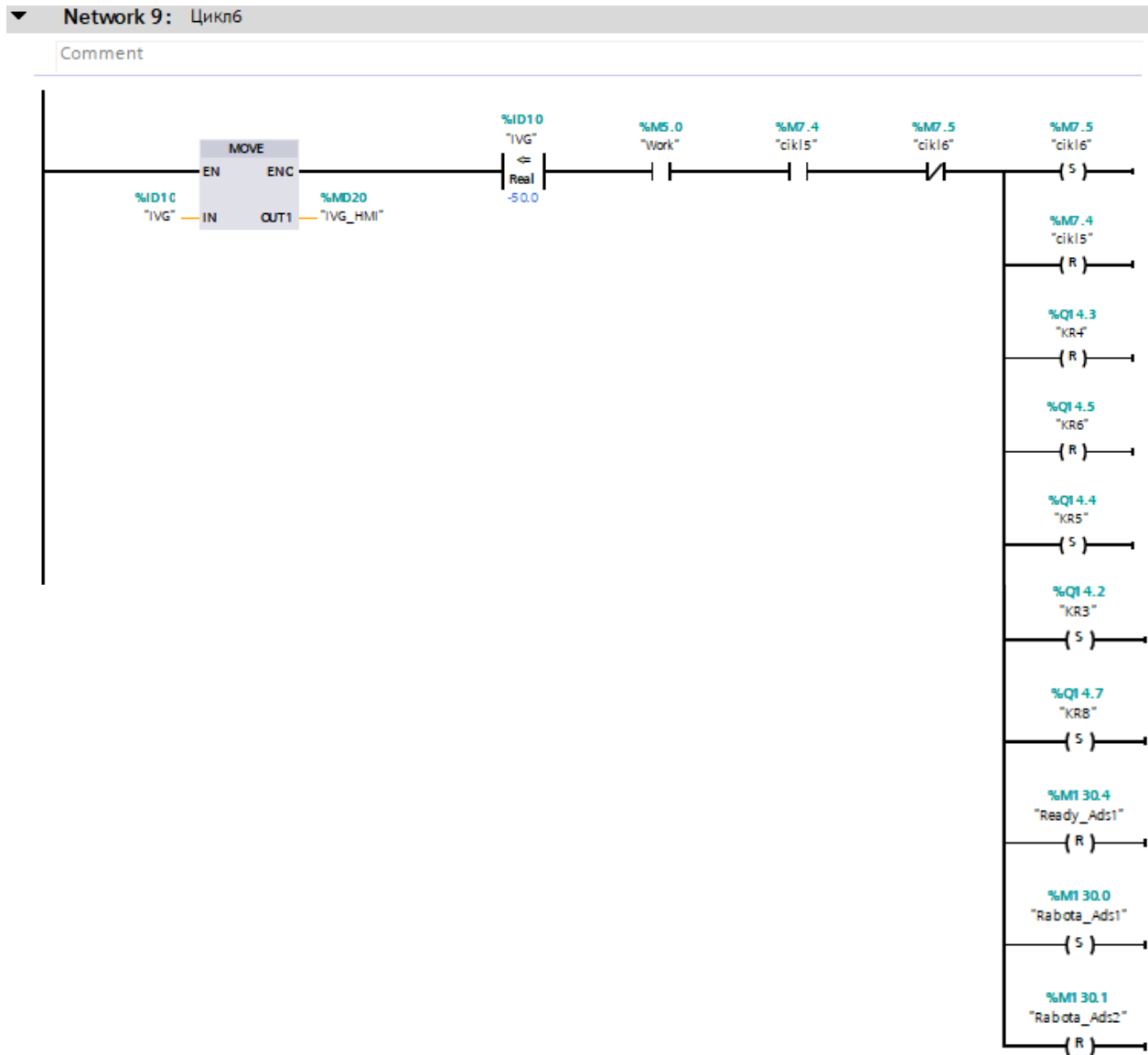
Comment



Network 8: Цикл5

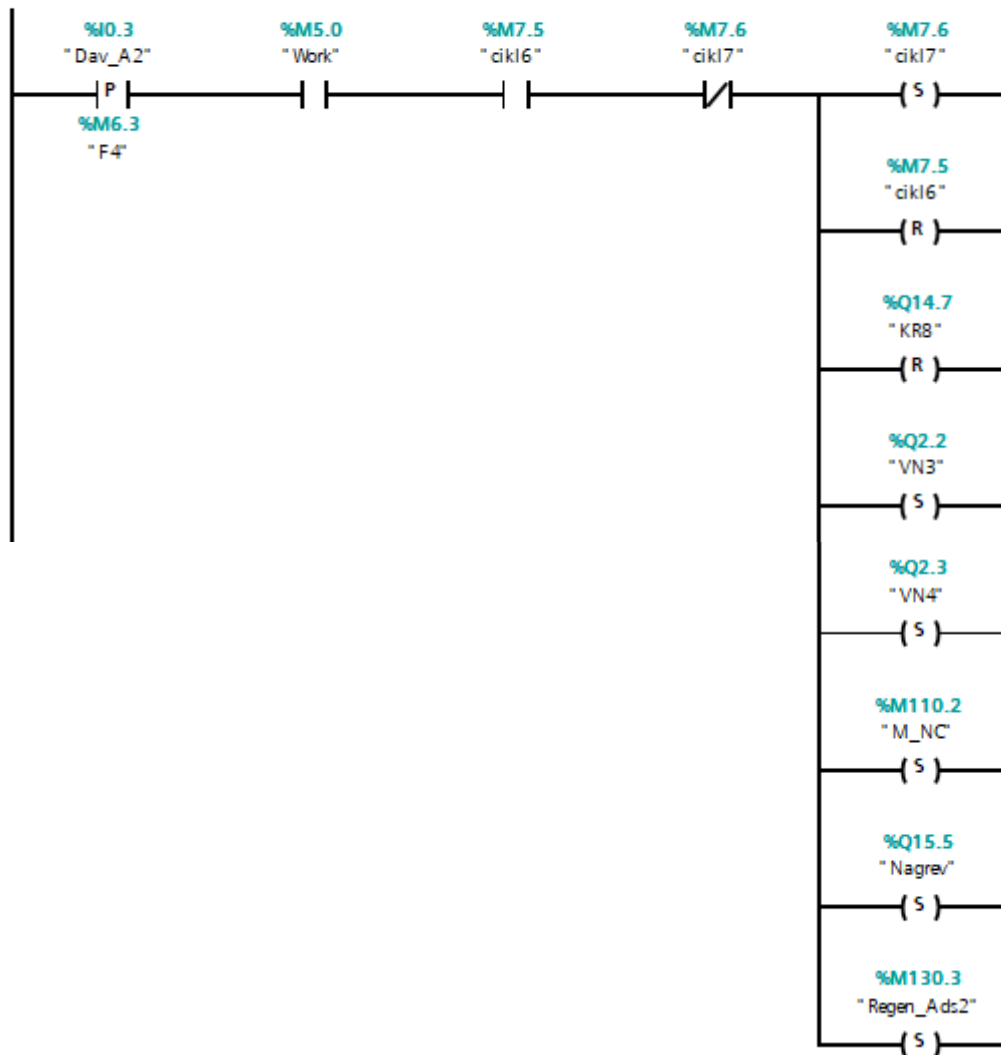
Comment





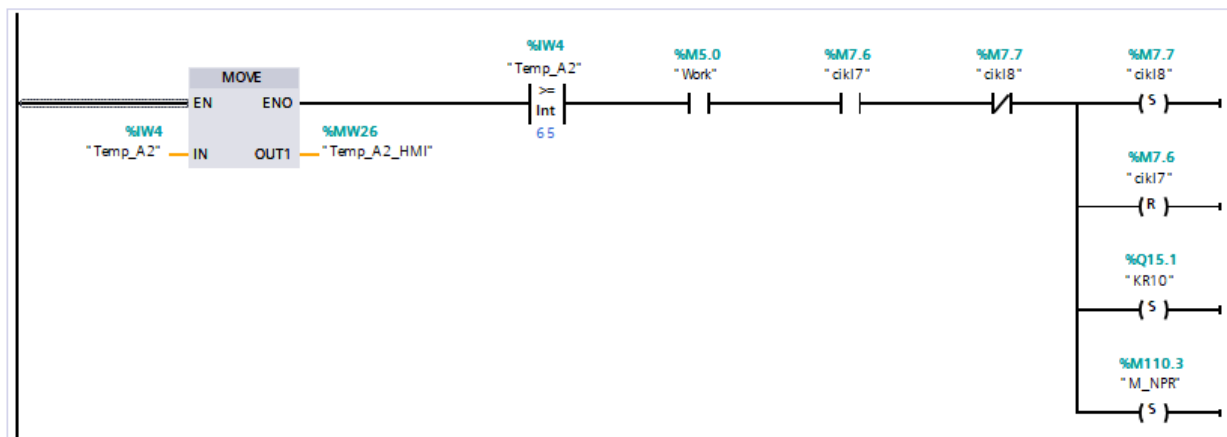
Network 10: Цикл7

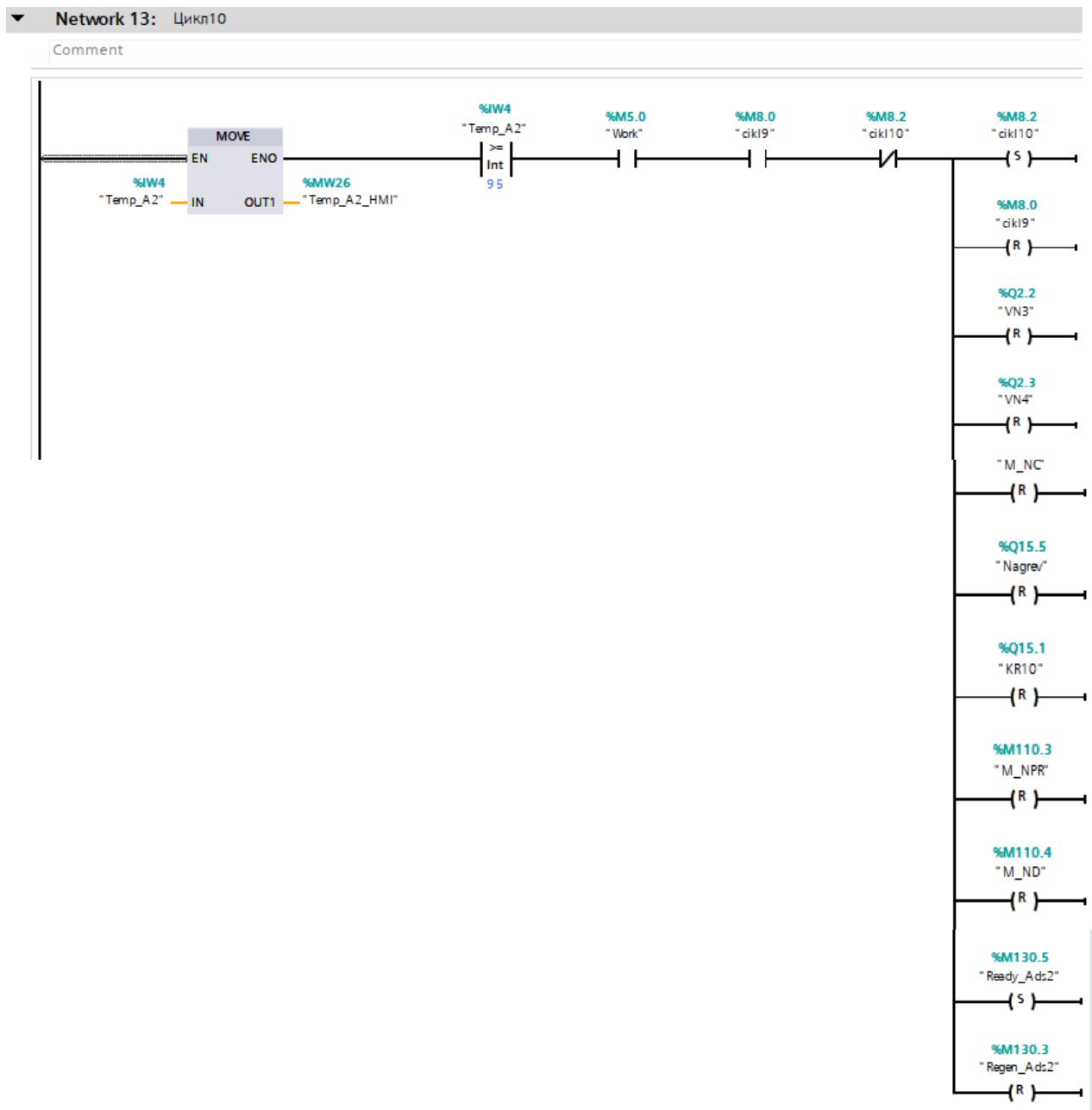
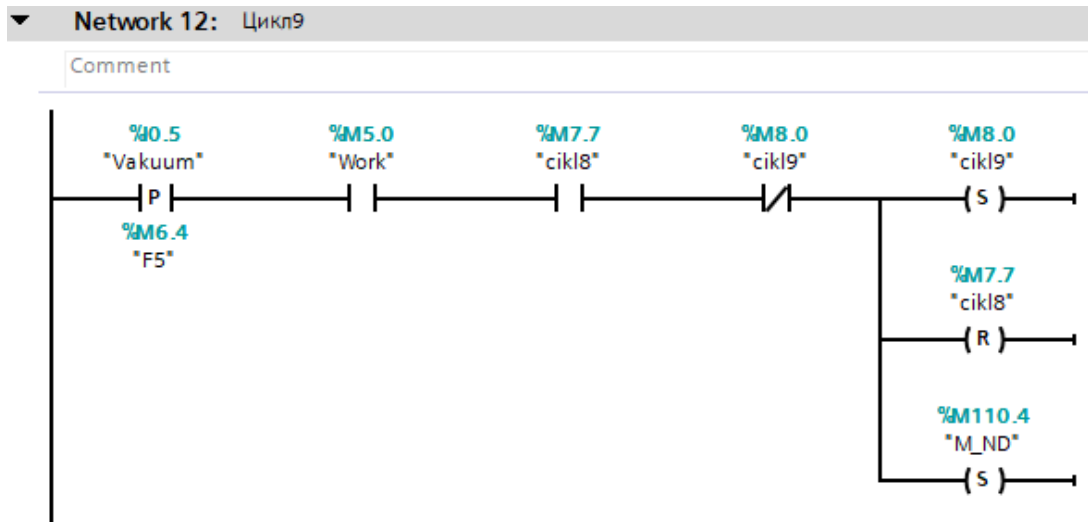
Comment



Network 11: Цикл8

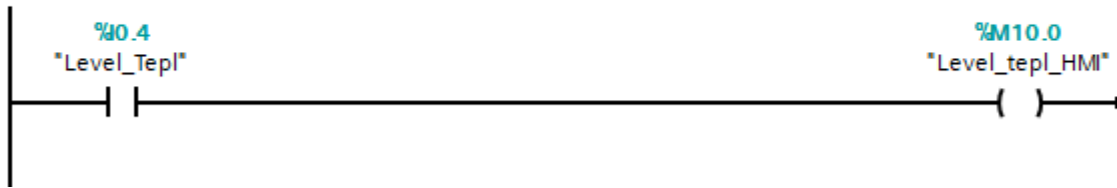
Comment





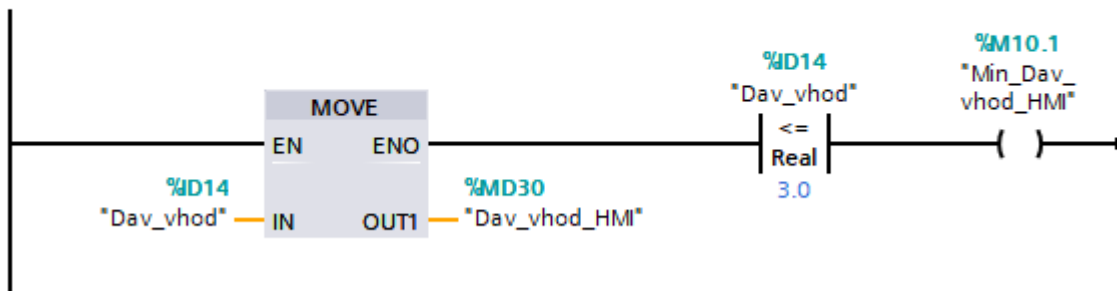
Network 14: Уровень теплоносителя

Comment



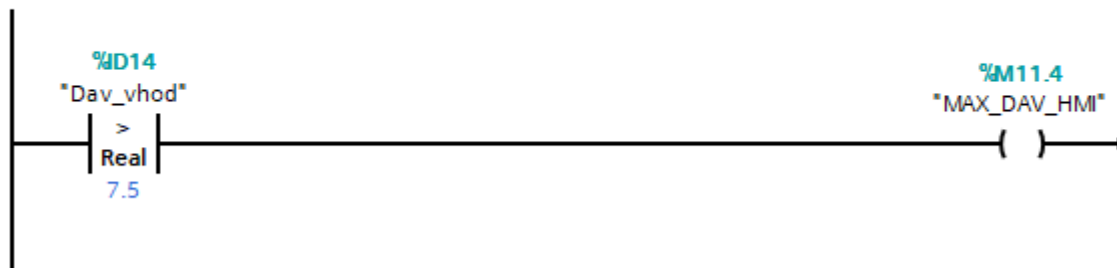
Network 15: Минимальное давление на входе

Comment



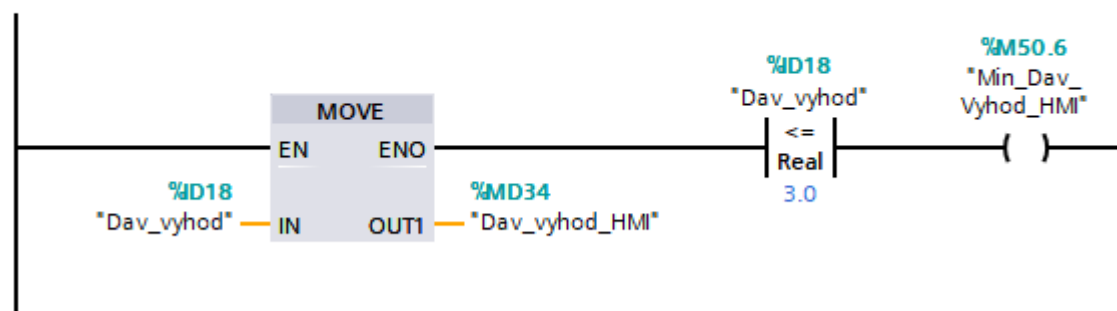
Network 16: Максимальное давление на входе

Comment



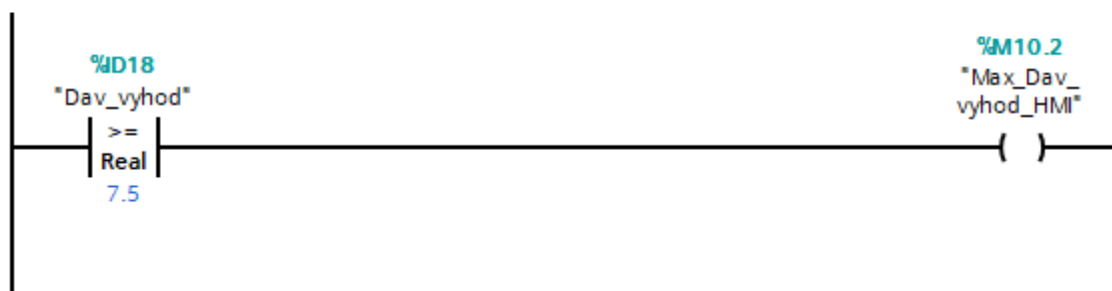
Network 17: Выход минимум HMI

Comment



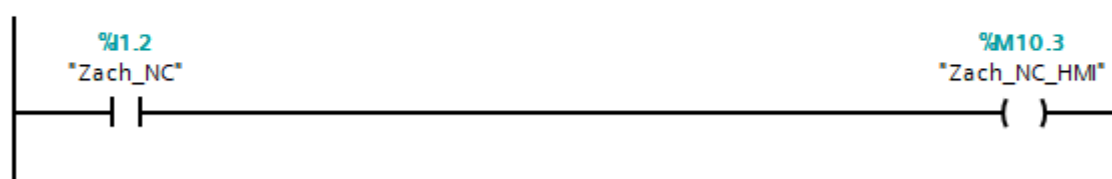
▼ **Network 18:** Максимальное давление на выходе

Comment



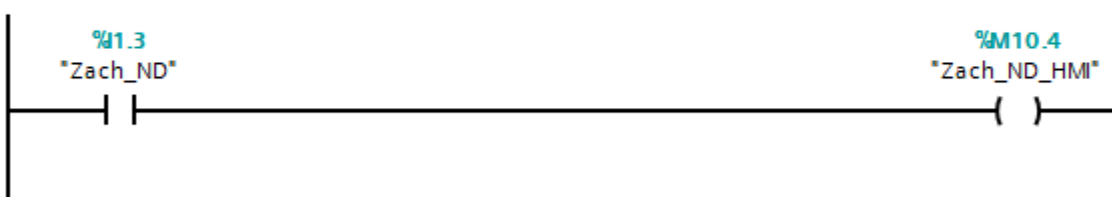
▼ **Network 19:** Защита двигателя циркуляционного насоса

Comment



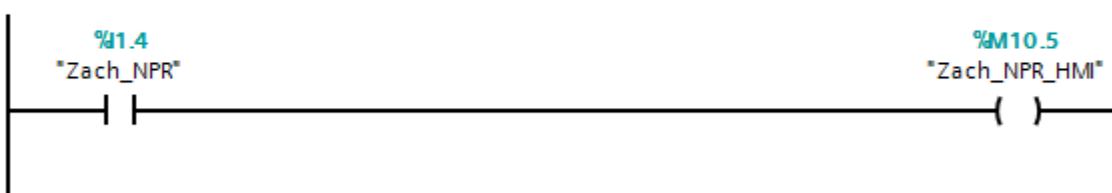
▼ **Network 20:** Защита двигателя диффузионного насоса

Comment



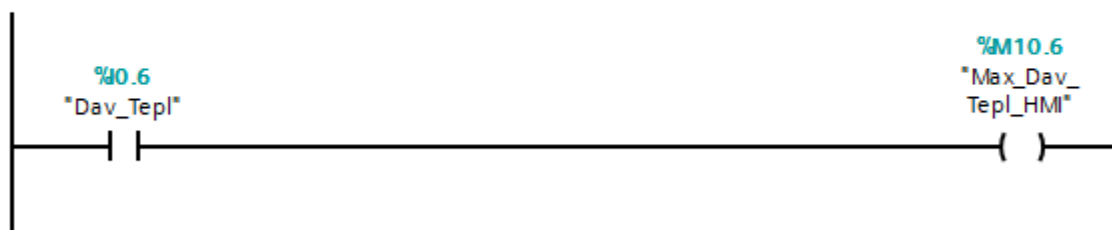
▼ **Network 21:** Защита двигателя пластинчато-роторного насоса

Comment



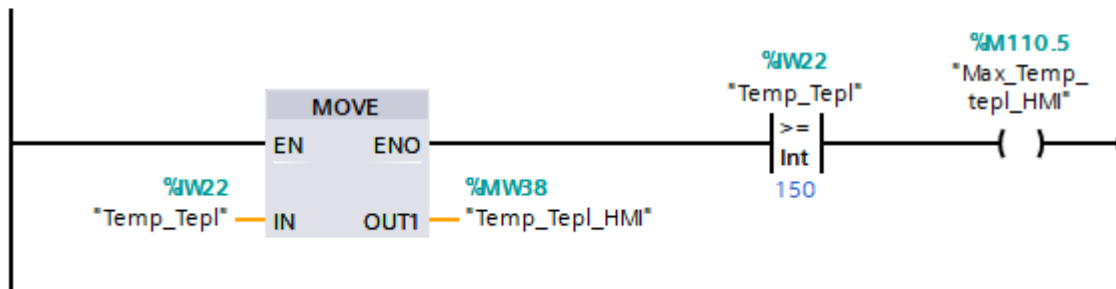
▼ **Network 22:** Давление теплоносителя

Comment



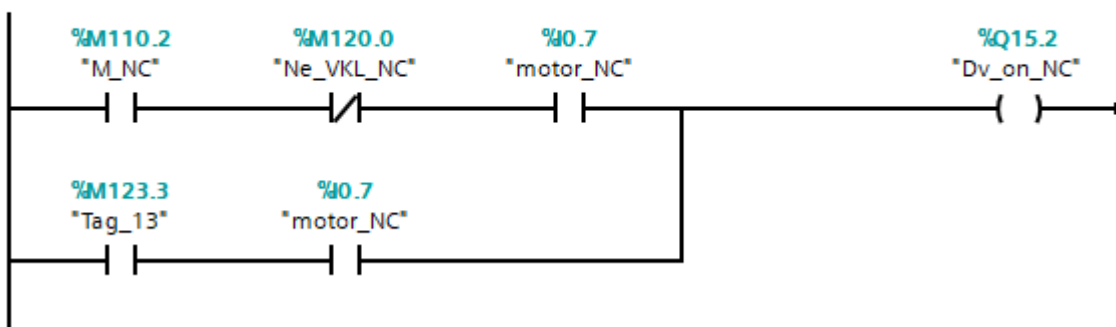
▼ **Network 23:** Температура теплоносителя

Comment



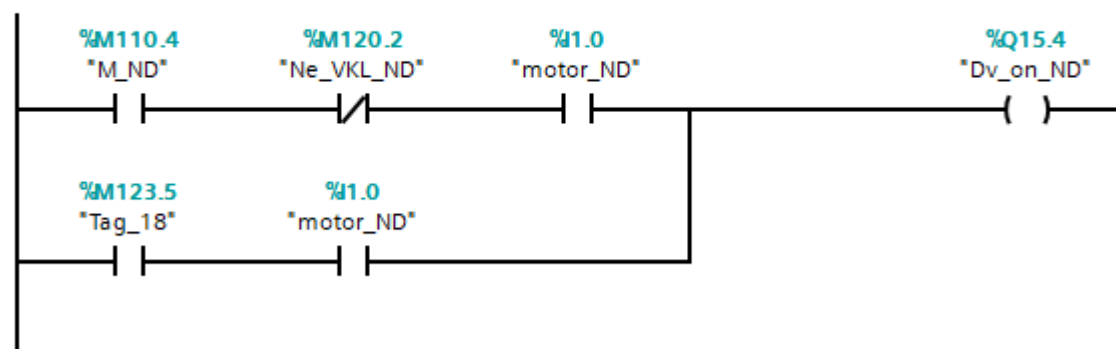
▼ **Network 24:** Обратная связь циркуляционного насоса

Comment



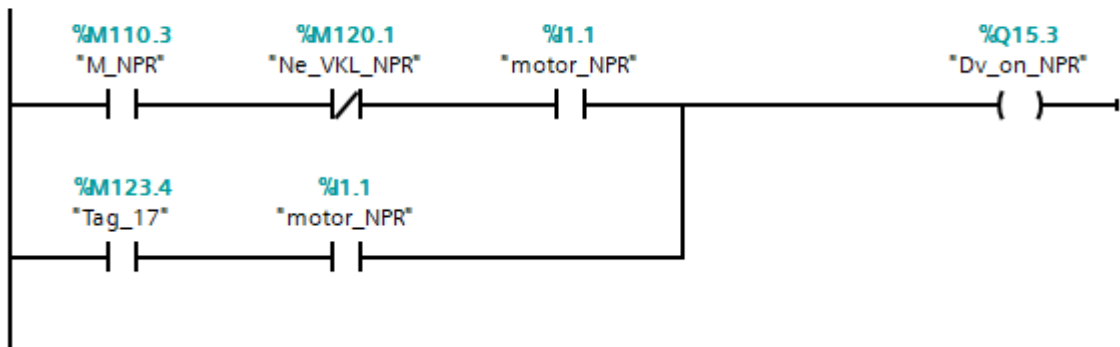
▼ **Network 25:** Обратная связь диффузионного насоса

Comment



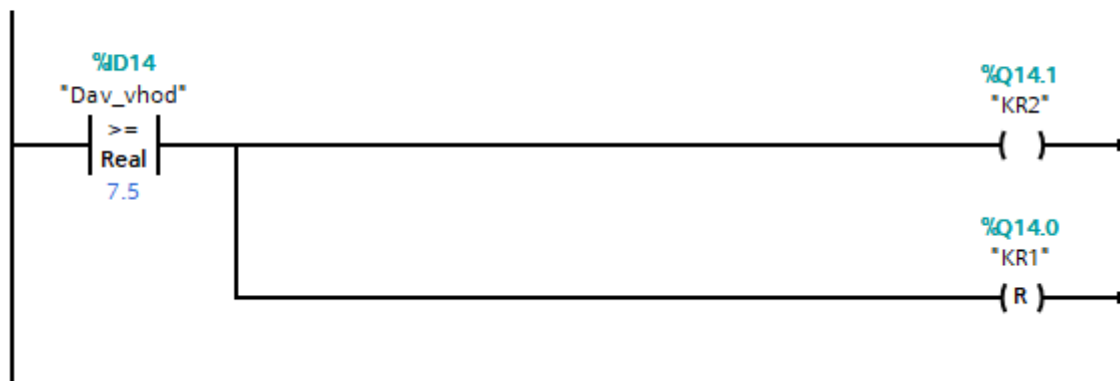
▼ **Network 26:** Обратная связь насоса-пластинчатого роторного

Comment



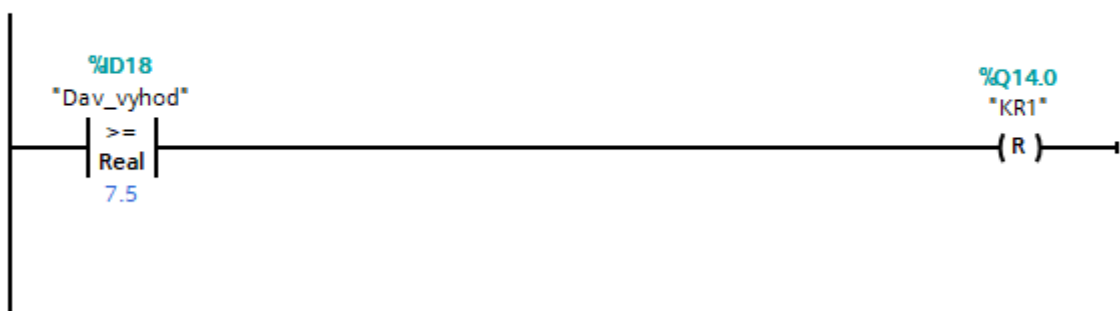
▼ **Network 27:** Превышение давления на входе

Comment



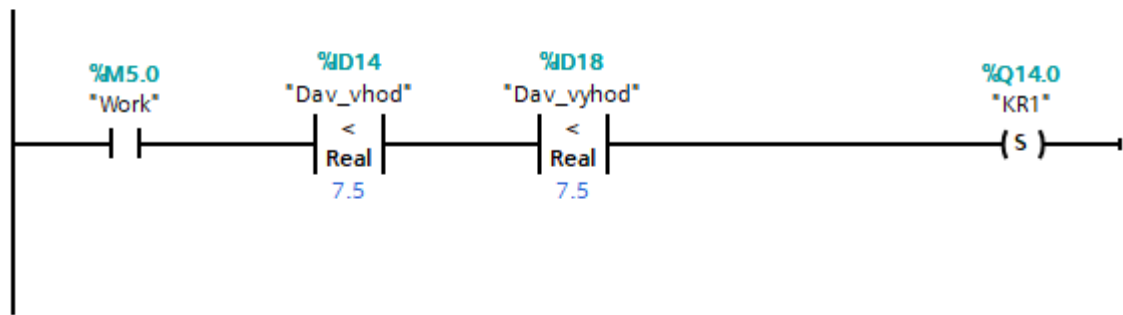
▼ **Network 28:** Превышение давления на выходе

Comment



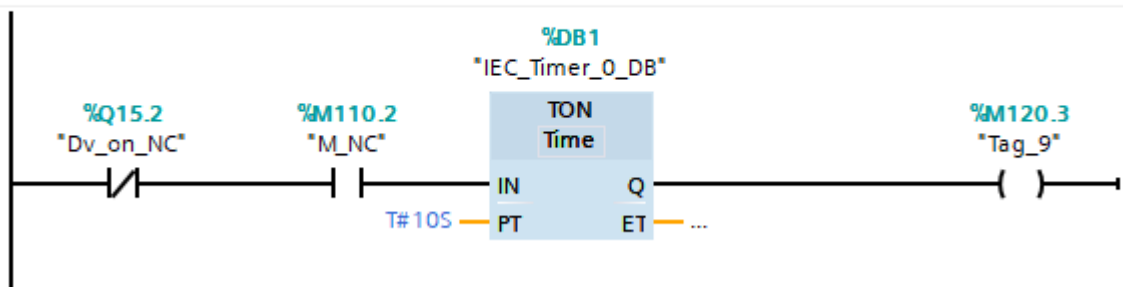
Network 29: Установление входного крана по нормальному давлению

Comment



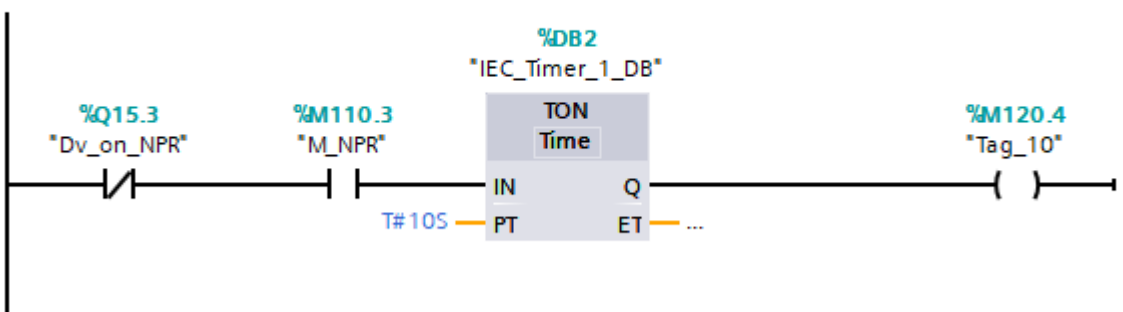
Network 30: Ожидание 10 секунд обратной связи НЦ

Comment



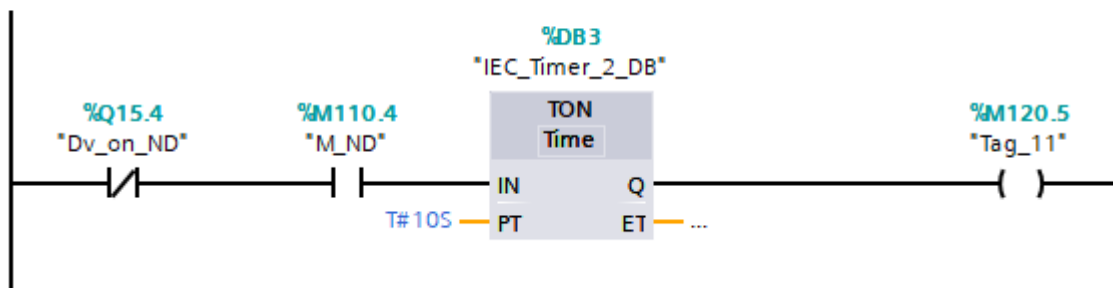
Network 31: Ожидание 10 секунд обратной связи НПП

Comment



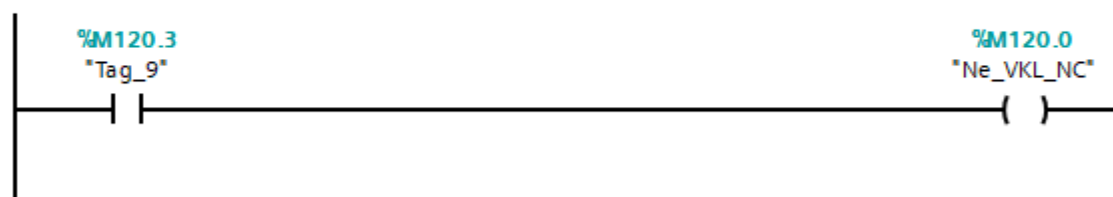
▼ **Network 32:** Ожидание 10 секунд НД

Comment



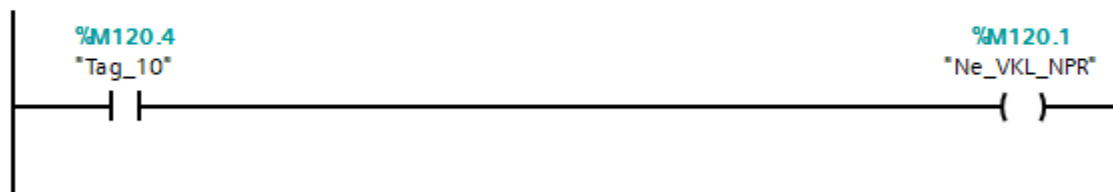
▼ **Network 33:** Не включился циркуляционный насос

Comment



▼ **Network 34:** Не включился пластинчато-роторный насос

Comment



▼ **Network 35:** Не включился диффузионный насос

Comment

