

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)» в г. Миассе
Факультет «Электротехнический»
Кафедра «Автоматика»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ С.С. Голошапов
_____ 2018 г.

Система управления методической печью на основе контроллера Simatic S7-400

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 270304.2018.022.00 ПЗ ВКР

Консультант
доцент кафедры АиУ
_____ О.В. Колесникова
_____ 2018г.

Руководитель проекта
начальник отдела
_____ Н.Н. Бараков
_____ 2018г.

Автор проекта
студент группы МиЭт-598
_____ Е.Ю. Кропочев
_____ 2018 г.

Нормоконтролер
кафедры АиУ
_____ Т.А. Барбасова
_____ 2018г.

Миасс 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 7 |
| 1 МЕТОДИЧЕСКАЯ НАГРЕВАТЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ..... | 9 |
| 1.1 Назначение системы автоматизации..... | 9 |
| 1.2 Описание объекта управления и технологического процесса | 10 |
| 1.3 Основные параметры объекта управления..... | 11 |
| 1.4 Существующий уровень автоматизации | 12 |
| 1.5 Обзор литературы | 14 |
| 1.6 Постановка цели и задач | 19 |
| 2 МЕТОДИЧЕСКОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУ МНП | 20 |
| 2.1 Методика управления режимными параметрами МНП | 20 |
| 2.2 Алгоритмы управления режимными параметрами МНП..... | 25 |
| 3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУ МНП..... | 31 |
| 3.1 Выбор оборудования полевого уровня АСУ МНП..... | 31 |
| 3.2 Выбор оборудования контроллерного уровня АСУ МНП..... | 35 |
| 3.3 Разработка схемы автоматизации..... | 40 |
| 3.4 Разработка схемы принципиальной | 40 |
| 4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУ МНП | 42 |
| 4.1 Разработка прикладного программного обеспечения..... | 42 |
| 4.2 Разработка пользовательского программного обеспечения..... | 58 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 73 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 74 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 80 |

ВВЕДЕНИЕ

На предприятиях чёрной металлургии прокатное производство является завершающим этапом производственного цикла. Номенклатура выпускаемой прокатной продукции велика, в связи с чем существуют различные прокатные станы, специализированные под определённый тип проката (например, лист, квадратный или круглый профиль большого или малого сечения, арматура, рельсовая продукция, уголки, швеллеры, и т.п.). Кроме того, существуют станы как холодной прокатки, не требующие нагретой заготовки, так и станы горячей прокатки, которые в своём составе имеют нагревательные печи различных типов, в которых и происходит разогрев заготовок перед прокаткой.

Режимы нагрева заготовок в нагревательных печах должны соблюдаться точно для получения проката с удовлетворительными механическими свойствами. При несоблюдении режима прокат на выходе стана будет иметь либо пониженную пластичность, либо пониженную прочность. В виду этого контролируется множество параметров в каждой зоне печи.

Для обеспечения требований поддержания технологических процессов в должном режиме, а также для безаварийной работы объектов производства в настоящее время имеется необходимость в автоматизированных системах управления технологическими процессами (далее АСУ ТП).

АСУ ТП в общем смысле – это группа технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления технологическими процессами и оборудованием на предприятиях. При этом понятие «автоматизированный», подчёркивает участие человека в некоторых операциях в целях сохранения контроля над процессом.

Составными частями АСУ ТП могут быть отдельные системы автоматического управления (САУ) или автоматизированные системы управления (АСУ), связанные в единый комплекс, такие как системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA),

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 7 |

Как правило, АСУ ТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного или нескольких пультов управления, средства обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовые элементы автоматики: датчики, устройства управления, исполнительные устройства.

В результате оснащения объектов системами автоматизации и средствами релейной защиты достигается существенная оптимизация финансовых расходов на сырьё, материалы, электроэнергию, ликвидацию последствий аварийной ситуации.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 8 |

1 МЕТОДИЧЕСКАЯ НАГРЕВАТЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

1.1 Назначение системы автоматизации

Выпускная квалификационная работа выполняется на основании задания на проектирование. Целью данного проекта является разработка автоматической системы управления тепловыми режимами нагрева заготовок в верхней сварочной зоне методической нагревательной печи Стана-240.

При проектировании систем автоматизации технологических процессов необходимо руководствоваться:

- основными техническими направлениями в проектировании систем управления и средств автоматизации;
- современным отечественным и зарубежным опытом в области автоматизации технологических процессов;
- действующими нормативными документами на проектирование систем автоматизации технологических процессов, государственными стандартами, каталогами на приборы, средства автоматизации;
- нормами и правилами строительного проектирования, санитарными, электротехническими, противопожарными и другими требованиями.

Система управления тепловым режимом нагрева заготовок предназначена:

- для управления тепловыми режимами нагрева заготовок, в соответствии с технологией;
- для обеспечения оперативного персонала цеха своевременной и достоверной информацией о ходе технологического процесса;
- для обеспечения оперативного персонала цеха своевременной и достоверной информацией о параметрах работы и состоянии печей;
- для обеспечения диагностики оборудования с выдачей предупредительной и аварийной сигнализации обслуживающему персоналу цеха.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 9 |

1.2 Описание объекта управления и технологического процесса

Мелкосортный прокатный Стан-240 Прокатного цеха №1 предназначен для работы с заготовками в виде квадрата сечением 75x75 мм и длиной от 3,7 до 4,2 м. Сортамент стана: круг диаметром от 10 до 25 мм, а также арматурная сталь диаметром от 8 до 18 мм. Нагрев заготовок осуществляется в двух проходных, однорядных, газовых, методических печах с торцевой посадкой и выдачей заготовок толкательного типа. Печи попеременно находятся в холодном резерве.

Методические печи непрерывного действия находятся в начале Стана-240 и служат для нагрева металла перед прокаткой. Холодные заготовки загружаются через окно посада и постепенно перемещаются толкателем вдоль печи в более горячую часть – к окну выдачи. Методические печи отапливаются природным газом, который сжигается в горелках отдельных зон нагрева печи, к которым поступает и воздух для горения. Металл в зонах горения топлива нагревается путём радиационного теплообмена со стенками печи и продуктами сгорания топлива, а в не отапливаемой части печи – путём радиации и конвективного теплообмена при соприкосновении с продуктами сгорания. Продукты сгорания движутся по рабочему пространству печи навстречу движению металла – вдоль него сверху и снизу; температура их постепенно снижается. Через рекуператор для подогрева воздуха и дымовые каналы продукты сгорания удаляются в атмосферу за счёт тяги трубы. Через окно выдачи нагретые заготовки подаются на рольганг, который перемещает их к прокатному стану.

Общий вид печи в продольном разрезе показан на рисунке 1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 10 |

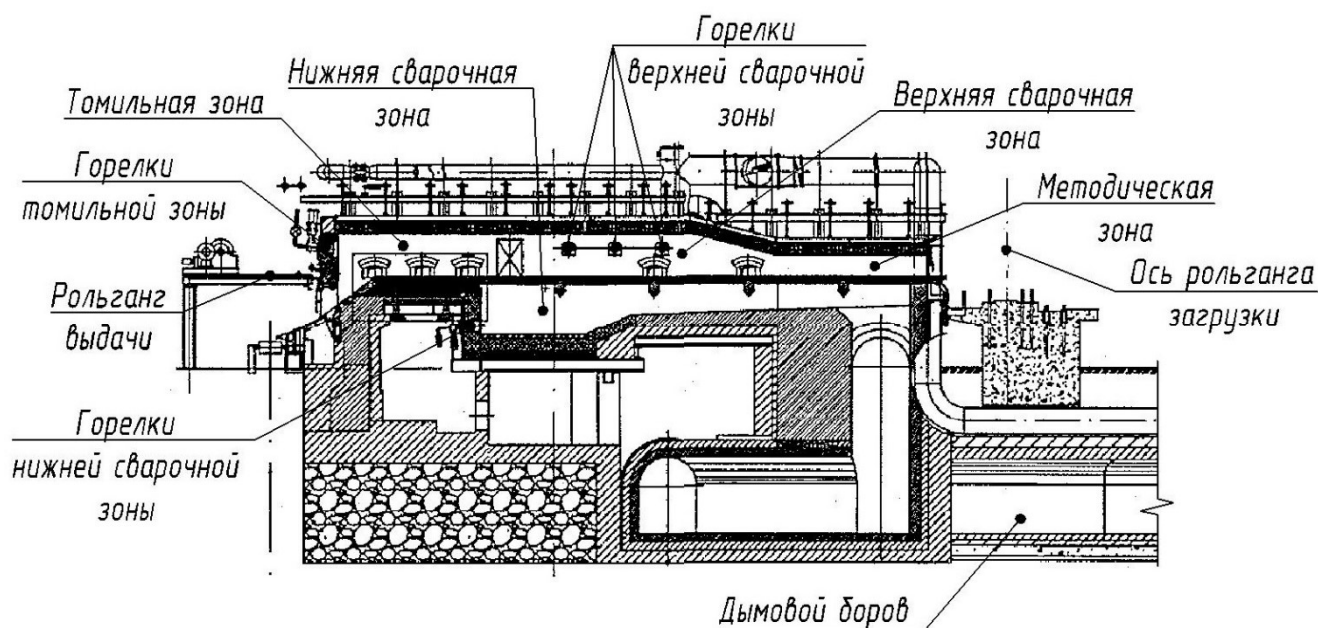


Рисунок 1 – Общий вид методической печи Стана-240 в продольном разрезе

1.3 Основные параметры объекта управления

Тепловой режим методической печи характеризуется следующими параметрами:

1. Температура в рабочем пространстве печи. Согласно технологической инструкции на Стан-240 в нагревательной печи может одновременно находиться несколько заготовок различного типа стали. В связи с этим существует около 16 режимов нагрева, каждый из которых характеризуется определённой температурой, которая соответствует показаниям датчика температуры в верхней сварочной зоне;

2. Давление в рабочем пространстве печи. Оно определяет интенсивность нагрева металла, удельный расход топлива, величину угара и окалинообразования, удобство обслуживания и сохранность агрегата. Слишком высокое давление ведёт к выбиванию из печи продуктов сгорания, что в свою очередь вызывает тепловые потери, а также ускоренный износ внешних конструкций, затрудняет контроль и обслуживание агрегата, загрязняет атмосферу цеха. При слишком низком давлении происходит подсос в печь холодного воздуха через смотровые окна, окна загрузки и выгрузки и неплотности в кладке, что ведёт к ухудшению использования топлива

| | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|-----------------------|------|
| | | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | 11 |

и затрудняет управление процессом горения. Наиболее неблагоприятным является подсос через окно выгрузки, так как это вызывает неравномерное охлаждение заготовки, что наверняка приведёт к браку. Ввиду данных факторов в печи поддерживается небольшое положительное давление.

3. Соотношение расходов природного газа и воздуха на горелки. При сгорании смеси газа и воздуха горючие составные части газа реагируют с кислородом воздуха. Полное сгорание характеризуется тем, что в реакции участвует такое количество кислорода, которое необходимо теоретически. При недостатке воздуха углерод сгорает не полностью, что приводит к таким отрицательным сторонам сгорания, как взрывоопасность (накопление в рабочем пространстве природного газа в достаточной взрывной концентрации), ядовитый угарный газ (так как в печи поддерживается избыточное давление, то угарный газ со временем может накапливаться рядом с печью, что может привести к отравлению персонала), снижение КПД (увеличение расхода газа при той же температуре сгорания, или же принципиальная невозможность достичь требуемой температуры факела). Сгорание при избытке воздуха характеризуется дополнительной потерей тепла на нагрев избытка воздуха. Наиболее благоприятным является процесс горения при небольшом избытке воздуха, достаточном, чтобы избежать неполного сгорания и при этом минимизировать потери тепла.

Исходя из вышесказанного, для поддержания требуемого теплового режима нагрева на оптимальном уровне требуется стабилизация вышеперечисленных параметров.

1.4 Существующий уровень автоматизации

Уровень автоматизации, который в настоящее время существует на Стане-240 не отвечает современным требованиям автоматизации технологических процессах. Как правило, это использование морально и физически устаревшего оборудования:

- измерение давления в пространстве печи – датчик давления Метран-45ДИ;

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 12 |

- измерение давления в трубопроводах природного газа и воздуха – Метран-100ДИ;
- измерение расходов природного газа и воздуха – диафрагмы ДКС и датчики разности давлений Сапфир-22ДД;
- регулирование температуры в печи, температуры воздуха после рекуператора, соотношения газ-воздух – регулятор Jumo IMAGO 500 и пускатели ПБР-2М;
- регистрация и визуализация показаний – прибор показывающий и регистрирующий Экограф;
- связь с сетью комбината – теплосчётчик Тэкон-19 и преобразователь интерфейсов CAN-BAS – Ethernet AE-67.



Рисунок 2 – а) Метран-45ДИ; б) Сапфир-22ДД; в) Метран-100ДИ



Рисунок 3 – а) Jumo IMAGO 500; б) ПБР-2М

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 13 |



а)



б)



в)

Рисунок 4 – а) Экограф; б) Тэкон-19; в) АЕ-67

1.5 Обзор литературы

Устаревание методов контроля и управления, как и используемых для этого средств измерения и приборов, является, пожалуй, одним из самых важных критериев оснащения различных объектов промышленности современными средствами. Это позволяет не только упростить обслуживание различных агрегатов, но и в первую очередь достичь оптимального управления.

В статье А.Г. Алёхина «Оптимальное управление многозонной нагревательной печью» журнала «Известия ВолгГТУ» [1] говорится об оптимизации режимов нагрева печей в машиностроении и металлургии. Основопологающим критерием является финансовая сторона вопроса. В самом деле: подавляющее большинство систем управления, реализованных в настоящий момент хоть и справляются со своей задачей, однако о высокой точности и качестве говорить не приходится. Качественное современное оборудование позволит оптимизировать технологический процесс, что подразумевает рационально использование ресурсов, а значит и минимизацию затрат.

Внедрение подобных новых для данного объекта технологий связано со многими проблемами. Во-первых, это переобучение рабочего персонала. Для некоторых людей подобное может оказаться сложной задачей, поэтому одним из важных свойств современных АСУ ТП должно являться не только соответствие

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 14 |

требованиям технологического процесса, но относительная простота понимания, обучения, обслуживания.

Во-вторых, это проблемы, связанные с работоспособностью аппаратно-программных средств автоматизации на полевом и контроллерном уровнях. В статье В.Г. Хазанова «Проблемы и пути развития интегрированных АСУ ТП» журнала «Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)» [2] говорится, что такие проблемы могут возникнуть по нескольким причинам. Например, несоответствие существующих средств автоматизации вновь возлагаемым на них требованиям (что опять же означает моральное, физическое и техническое устаревание оборудования).

Подобные системы, в первую очередь, нуждаются в проектировании. В статье Ю.П. Сербодинцева «Выбор комплексного критерия оптимизации процесса нагрева в методической печи» журнала «Известия ВолгГТУ» [3] говорится о том, что при проектировании систем, предназначенных для реализации оптимальных режимов нагрева, разработчик должен сформировать цель, которая должна быть достигнута в процессе нагрева металла в печи. В частности, это связано с ознакомлением с технологическим процессом, определением параметров, которые необходимо контролировать.

В общем смысле подобные вопросы решаются индивидуально для каждого объекта управления, и перечень вопросов, требующих разрешения, может и будет варьироваться в зависимости от специфики производства. Однако, в подобном случае в таких однотипных объектах, как, скажем, нагревательные печи, можно выделить общие критерии управления и параметры. Так в книге В.И. Губинского «Металлургические печи» [4] описаны различного рода нагревательные печи, их конструкция, и, что немаловажно, вопросы эксплуатации, позволяющие выделить такие основные параметры.

В книге Л.И. Буглака «Автоматизация методических печей» [5] освещается подобный вопрос относительно методических печей, различающихся по конструкции, по некоторым отдельным принципиальным элементам (таких как, например, механизм движения заготовки). В книге излагаются вопросы выбора

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 15 |

наиболее предпочтительных мест для измерения всех параметров, характеризующих работу нагревательных печей.

Автоматизированные системы управления технологическим процессом находят широкое применение в настоящее время, так как они позволяют достичь современных требуемых условий управления технологическим процессом. АСУ ТП применяется как на крупных объектах промышленности, так и на более мелких. Подобные различия сказываются на широком спектре аппаратной составляющей. Основным вычислительным центром могут являться, например, микроконтроллеры, предназначенные, как правило, для решения узко специализированных задач, не требующих очень большой вычислительной мощности. Так же это могут быть контроллеры промышленного назначения, решающие более общие задачи, такие как съём показаний, управления оборудованием, стандартные математические задачи, позиционирование, регулирование, и т.д. Кроме того, промышленные контроллеры тоже могут иметь различный конструктив (монолитный или модульный, к примеру).

В статье И.Е. Грязнова «Опыт разработки распределённой АСУ ТП и её использование в учебном процессе» журнала «Известия ВолгГТУ» [6] приводится пример использования распределенной АСУ ТП в учебных целях для организации учебного процесса, позволяющей получать более качественное представление о проектировании современных систем управления. Так, в качестве вычислительного центра применяется ПЛК монолитной структуры. На производстве подобный способ может применяться, но в виду того, что подобные ПЛК обладают малым количеством входов для подключения оборудования, этот способ нецелесообразен для особо крупных объектов.

Как видно из пункта 1.4 данной выпускной квалификационной работы, такой способ в настоящее время реализован для управления методической печью Стана-240, который является крупным объектом с множеством параметров. Отсюда вытекают недостатки подобной реализации. Во-первых, необходимость применения нескольких контроллеров подобного типа. Это в свою очередь приводит к использованию большого количества щитов автоматики, где

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 16 |

размещается всё оборудование. Использование ПЛК модульной структуры позволяет во многом решить подобные вопросы.

Так как подобного рода технология получила широкое распространение в современном мире, то количество фирм, производящих ПЛК различной конфигурации растёт. Однако некоторые фирмы прочно укрепились в данной нише, и имеют огромный опыт реализации своих систем на производстве. Одной из таких фирм является Германская фирма Siemens, в частности её ПЛК S7-300, S7-400, и более современные S7-1200 и S7-1500.

В статье А.Ю. Салтыкова «Модернизация автоматизированной системы управления методической печью» журнала «Молодой учёный» [7] рассматривается внедрение АСУ ТП на базе контроллера S7-1500 для управления процессом нагрева труб в промышленных печах. Применение самой современной модели ПЛК фирмы Siemens обосновано.

Применение подобного контроллера для решения задачи автоматизации методической печи Стана-240 нецелесообразно по нескольким причинам. Во-первых, это более высокая стоимость выбранной модели ПЛК, в соотношении с требуемыми задачами. Несмотря на то, что сама по себе печь и Стан-240 в целом является достаточно крупным объектом, для поддержания тепловых режимов данного объекта решаются относительно типовые задачи. Во-вторых, на ЧМК уже имеется успешный опыт внедрения контроллеров модели S7-400 в нескольких особо крупных и ответственных цехах (например, на машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), или на новом универсальном рельсобалочном стане (УРБС)). Контроллер справляется с возложенными на него задачами, поэтому в данном контексте следует рассматривать выбор ПЛК с позиции соотношения «цена-качество».

Для того, чтобы реализовать визуализацию технологического процесса для технологов использовались мнемосхемы, представляющие собой металлическую панель с изображённой на ней мнемосхемой, с установленной светосигнальной и звуковой арматурой, приборами автоматики и управляющих элементов.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 17 |

Использование АСУ ТП на базе ПЛК позволяет полноценно заменить подобные панели на компьютерную графику. Это достигается с использованием SCADA.

В настоящее время существует множество SCADA-систем, которые используются во многих областях промышленности. К примеру, в книге «Труды института проблем управления РАН. Том XVIII» в главе «Основные решения по созданию системы верхнего (блочного) уровня АСУ ТП АЭС» [8] осуществляется разработка комплекса автоматизации для АСУ ТП АЭС на основе SCADA TRACE MODE.

В статье А.А. Гаенко «Сравнительный анализ SCADA-систем на основе различных критериев» журнала «Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Информационные системы и технологии» [9] рассматривается пример выбора лучшей SCADA-системы по различным критериям. Из данной статьи можно увидеть, что таких критериев множество. Можно сделать вывод, что выбор подходящей для решения той или иной задачи SCADA-системы – это выбор индивидуальный, так как у каждой SCADA-системы есть как свои плюсы, так и свои минусы.

Многие производители ПЛК предполагают также и средства для разработки SCADA-систем. В случае выбора ПЛК подобной фирмы следует применять именно эти средства.

В статье Ю.Э. Реймгена «Автоматизированные системы управления технологическими процессами. SCADA система» журнала «Научный вестник Московского государственного горного университета» [10] рассматривается работа SCADA-системы на базе комплекса фирмы SIEMENS, в составе контроллера S7-300 и SCADA WinCC.

Подводя итог, можно сказать следующее. Внедрение АСУ ТП на базе ПЛК позволит заменить устаревшие датчики полевого уровня, а также щитовое оборудование на современные модели. Часть средств автоматизации будет ликвидирована, их функции полноценно заменит контроллер.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 18 |

Система позволит реализовать следующие функции:

- обеспечение сбора данных с интеллектуальных датчиков полевого уровня и их диагностика (если это предусматривается функционалом датчика);
- выдача управляющих воздействий на внешние исполнительные органы;
- возможность управление агрегатом как в автоматическом, так и ручном режимах;
- возможность переключения между режимами «работа» и «розжиг»;
- человеко-машинный интерфейс оператора на базе ЭВМ в виде мнемосхемы с отображением требуемых контролируемых параметров, элементов управления режимами, визуализацией состояния аварийных сигналов, возможностью настройки регуляторов на оптимальную работу.

Кроме того, система на основе контроллера Simatic S7-400 будет иметь модульную структуру, что позволит при необходимости наращивать её.

1.6 Постановка цели и задач

Целью работы является модернизация существующей системы автоматизированного управления режимом нагрева в верхней сварочной зоне методической нагревательной печи Стана-240 на основе современного программно-технического комплекса.

Для достижения этой цели требуется решить следующие задачи:

1. Исследование существующих решений на основе обзора литературы.
2. Разработка методического и алгоритмического обеспечения АСУ МНП.
3. Выбор технического обеспечения полевого и контроллерного уровня АСУ МНП.
4. Разработка схемы автоматизации и схемы электрической принципиальной на основе выбранного оборудования.
5. Разработка прикладного и пользовательского программного обеспечения АСУ МНП.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 19 |

2 МЕТОДИЧЕСКОЕ И АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУ МНП

2.1 Методика управления режимными параметрами МНП

АСУ методической печи строится на основе типовой иерархической модели. Модель базируется на трёх основных уровнях.

Структурная схема типовой АСУ приведена на рисунке 5.

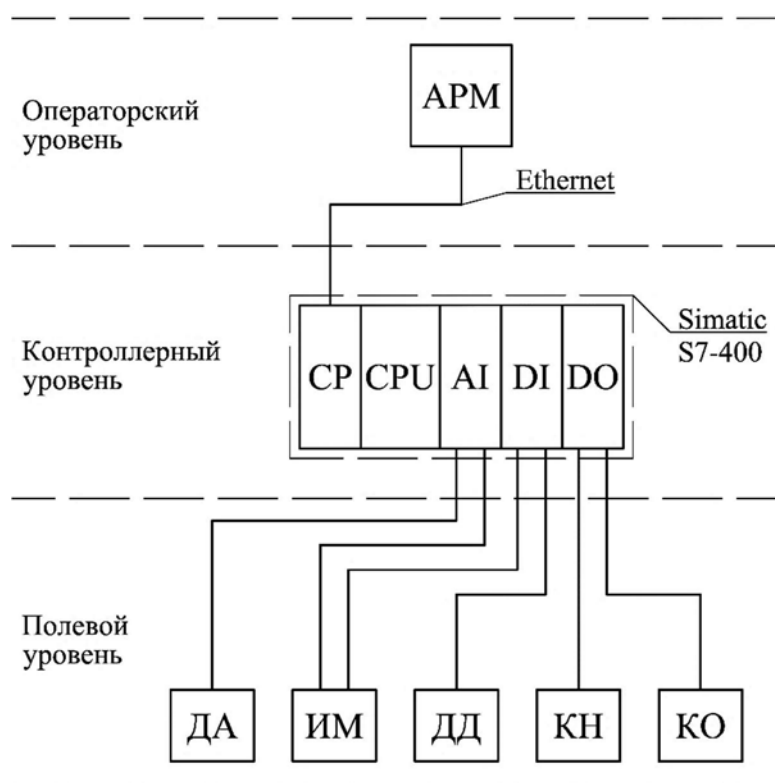


Рисунок 5 – Структурная схема АСУ

Первый уровень (полевой) – уровень контрольно-измерительных приборов, включающий в себя первичные датчики (аналоговые ДА или дискретные ДД), исполнительные устройства (ИМ), а также сопутствующее оборудование, такое как пускатели или контакторы (К), отсечные клапаны (КО).

Второй уровень (контроллерный) – уровень контроллера. Включает в себя ПЛК с системой ввода-вывода информации и предназначен для непосредственного взаимодействия с оборудованием КИП. Кроме того, осуществляется информационный обмен со следующим, третьим уровнем.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 20 |

Третий уровень (операторский) – уровень визуализации и операторского управления (HMI/SCADA). Предназначен для мониторинга текущего состояния технологического объекта, восприятия управляющих воздействий оператора. На этом уровне осуществляется управление процессом с АРМ-а оператора, накопление информации о ходе технологического процесса, хранение её в базе данных.

Для поддержания теплового режима в верхней сварочной зоне на оптимальном уровне требуется контроль и регулирование нескольких параметров.

1) Регулирование температуры в верхней сварочной зоне

Структурная схема АСР температуры приведена на рисунке 6.

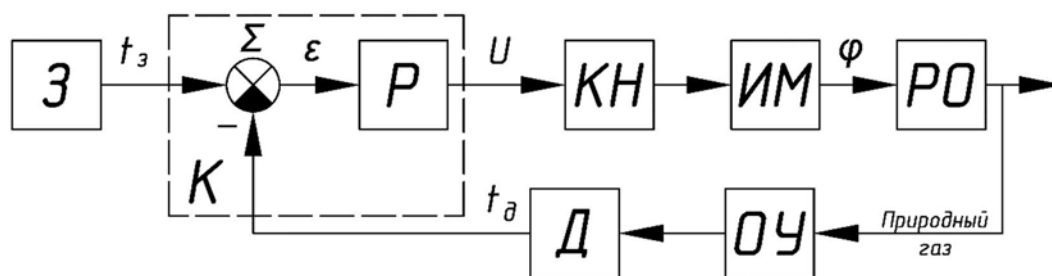


Рисунок 6 – Структурная схема АСР температуры в верхней сварочной зоне

Осуществляется путём изменения расхода природного газа, подаваемого к горелкам верхней сварочной зоны. При изменении температуры сигнал с первичного датчика (Д) подаётся на модуль ввода аналоговых сигналов контроллера Simatic S7-400. Задающий сигнал (З) определяет технолог (в данном случае это главный нагревательщик) со своего АРМ-а при помощи HMI. Программа, заложенная в контроллер, сравнивает два сигнала при помощи блока суммирования (Σ), который выдаёт сигнал рассогласования. Сигнал рассогласования является входным параметром для блока регулирования контроллера (Р). Блок регулирования выдаёт управляющее воздействие типа «открыть клапан/закрыть клапан» в виде выходного дискретного сигнала на модуль вывода дискретных сигналов, и затем на реверсивный контактор (КН). Контакттор управляет

исполнительным механизмом (ИМ), который механически связан с регулирующим клапаном (РО). Значение температуры и положение клапана выводится на АРМ. Ручное управление организовано программно и производится с АРМ-а.

2) Регулирование соотношения расходов «природный газ – воздух»

Структурная схема АСР соотношения расходов приведена на рисунке 7.

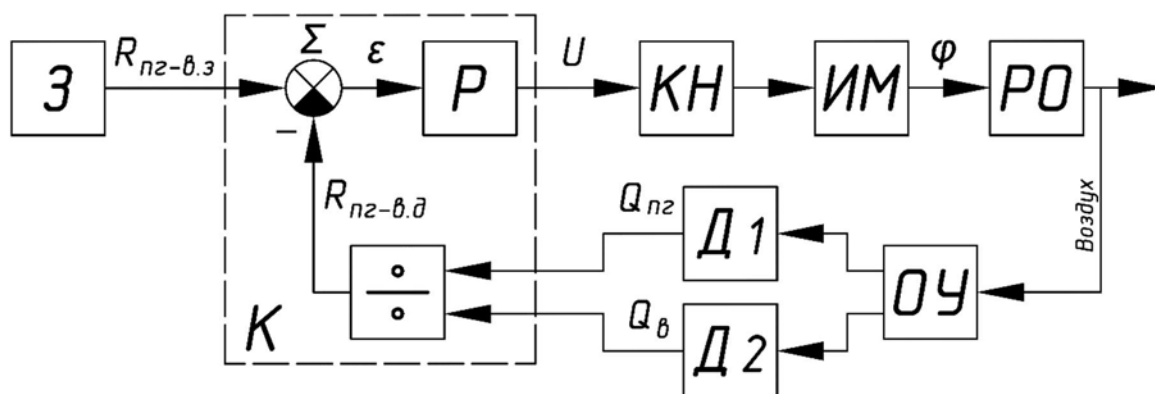


Рисунок 7 – Структурная схема АСР соотношения расходов «природный газ – воздух» в верхней сварочной зоне

Осуществляется путём изменения расхода воздуха, подаваемого к горелкам верхней сварочной зоны. С помощью датчиков расхода (D_1 и D_2) измеряются расходы газа и воздуха, сигналы с которых подаются на модуль ввода аналоговых сигналов контроллера. Соотношение расходов вычисляется математически в блоке деления (\div). Сигнал задания (Z) определяет главный нагреватель со своего АРМ-а. Программа, заложенная в контроллер, сравнивает два сигнала при помощи блока суммирования (Σ), который выдаёт сигнал рассогласования. Сигнал рассогласования является входным параметром для блока регулирования контроллера (P). Блок регулирования выдаёт управляющее воздействие типа «открыть клапан/закрыть клапан» в виде выходного дискретного сигнала на модуль вывода дискретных сигналов, и затем на реверсивный контактор ($КН$). Контактёр управляет исполнительным механизмом ($ИМ$), который механически связан с регулирующим клапаном ($РО$). Значения расходов газа и воздуха, а также

положение клапана выводится на АРМ. Ручное управление организовано программно и производится с АРМ-а.

3) Регулирование давления в верхней сварочной зоне

Структурная схема АСР давления приведена на рисунке 8.

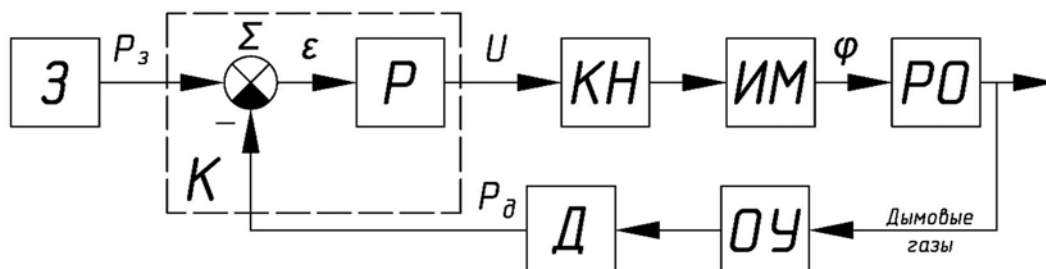


Рисунок 8 – Структурная схема АСР давления
в верхней сварочной зоне

Осуществляется путём изменения количества отводимых продуктов сгорания при помощи шибера в дымовом борове. Давление в пространстве зоны измеряется с помощью датчика давления (Д), сигнал с которого подаётся на модуль ввода аналоговых сигналов контроллера. Сигнал задания (З) определяет главный нагреватель со своего АРМ-а. Программа, заложенная в контроллер, сравнивает два сигнала при помощи блока суммирования (Σ), который выдаёт сигнал рассогласования. Сигнал рассогласования является входным параметром для блока регулирования контроллера (Р). Блок регулирования выдаёт управляющее воздействие типа «открыть клапан/закрыть клапан» в виде выходного дискретного сигнала на модуль вывода дискретных сигналов, и затем на реверсивный контактор (КН). Контактор управляет исполнительным механизмом (ИМ), который механически связан с регулирующим клапаном (РО). Значение давления и положение клапана выводится на АРМ. Ручное управление организовано программно и производится с АРМ-а.

4) Отсечка природного газа

Отсечка газа производится по нескольким параметрам. Во-первых, это давление в трубопроводах природного газа и воздуха на зону, а во-вторых – наличие пламени горелок зоны.

Измерение давления осуществляется с помощью датчиков избыточного давления, сигнал с которых подаётся на входы модуля ввода аналоговых сигналов. В программе контроллера производится сравнение входной величины с датчиков с нижними критическими уровнями. В случае совпадения этих значений срабатывают установленные алармы. Контроль наличия пламени осуществляется с помощью фотоэлектрических датчиков. Сигнал с датчиков с подаётся на модуль ввода дискретных сигналов.

Решение о закрытии заслонки принимается программно. Отсечка природного газа должна происходить либо в случае падения давления газа или воздуха ниже критического уровня, либо при пропадании пламени на одной из горелок. Сигнал на закрытие клапан выводится на модуль вывода дискретных сигналов. Закрытый отсечной клапан является сигналом запрета на регулирование соотношения расходов газ-воздух и температуры в печи.

5) Контроль и сигнализация параметров

Все датчики, кроме датчиков наличия пламени, имеют выходной аналоговый сигнал (либо унифицированный токовый, либо термо-ЭДС). Таким образом каждый параметр, измеряемый системой, подлежит контролю. На интерфейс АРМ-а оператора будут выведены окна с указанием измеряемых параметров и их значение.

Кроме того, на АРМ должно выводиться сообщение о достижении некоторых предельных значениях некоторых параметров. Таковыми являются низкое давление газа и воздуха, низкое давление в пространстве зоны, отсутствие пламени горелок.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 24 |

2.2 Алгоритмы управления режимными параметрами МНП

Для обеспечения работы автоматизированной системы управления тепловыми режимами нагрева требуется прикладное программное обеспечение, которое имеет определённый алгоритм. Алгоритмы изображаются в виде блок-схем, которые отображают путь данных при решении задач и определяют этапы обработки, а также различные применяемые носители данных.

Для данной системы алгоритм разбит на пять основных частей, представленных на рисунках 9...13. Работа всех алгоритмов осуществляется непрерывно в цикле обработки контроллера.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 25 |

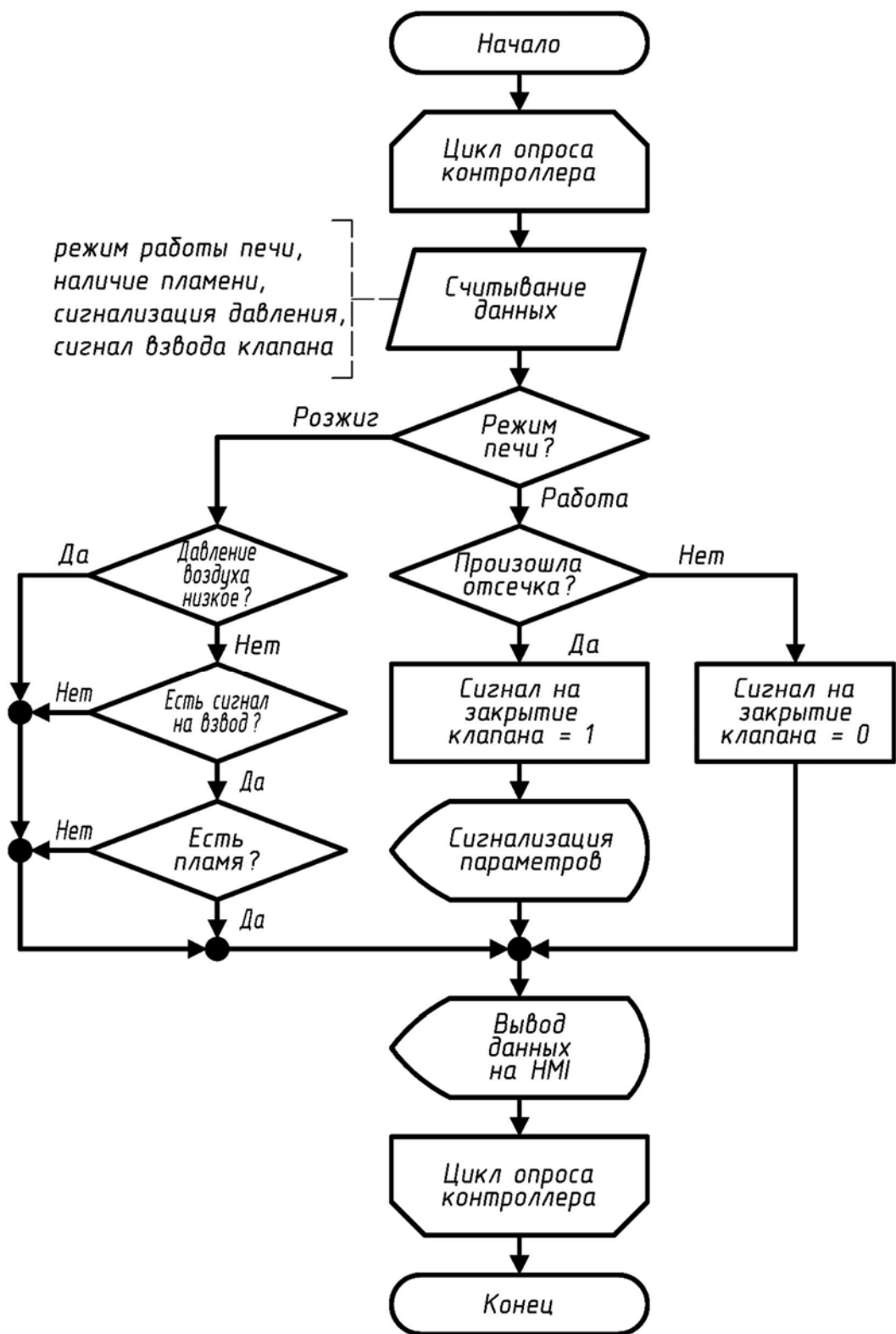


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма отсечки и пуска

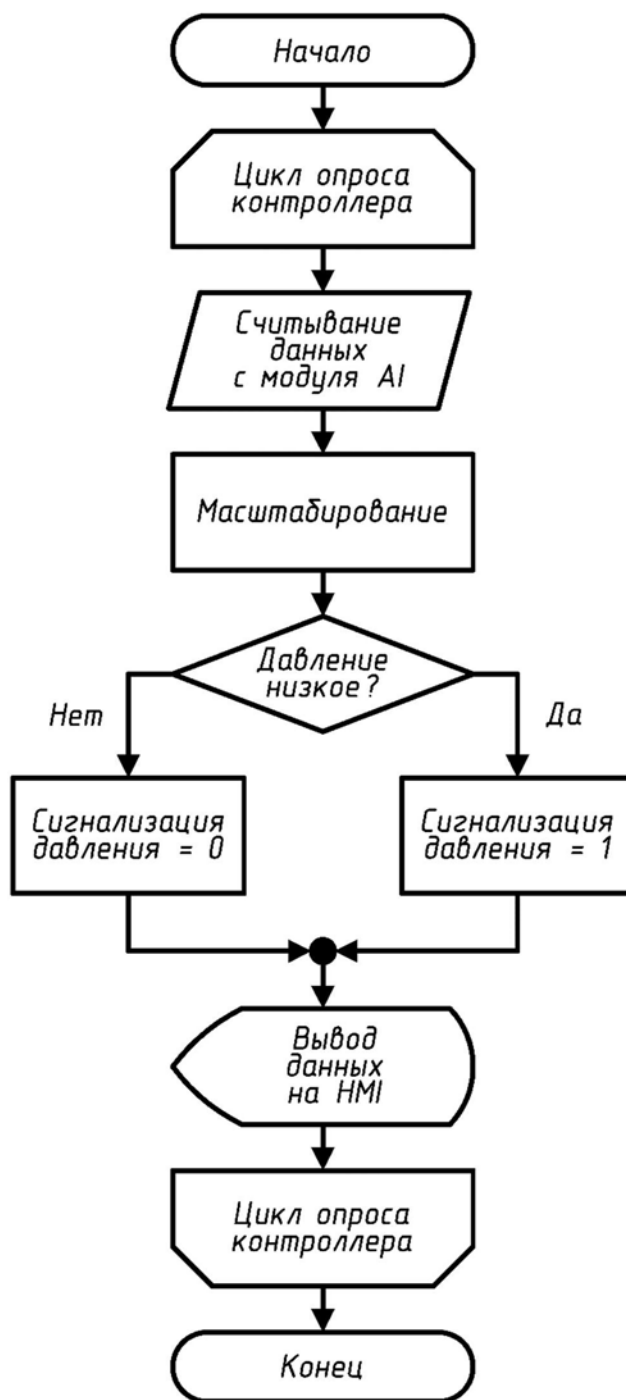


Рисунок 10 – Блок-схема алгоритма измерения давления природного газа и измерения давления и воздуха

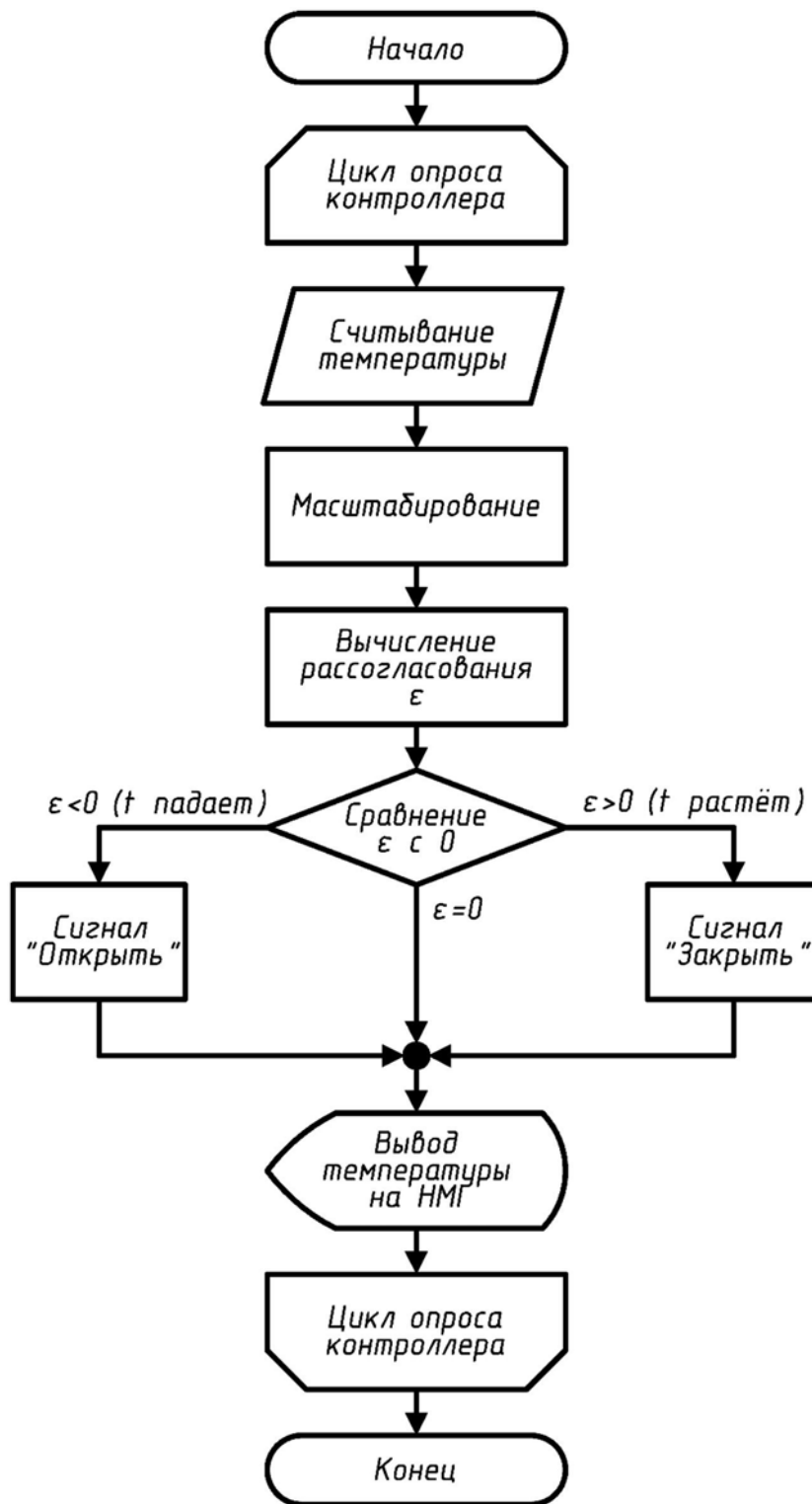


Рисунок 11 – Блок-схема алгоритма регулирования температуры

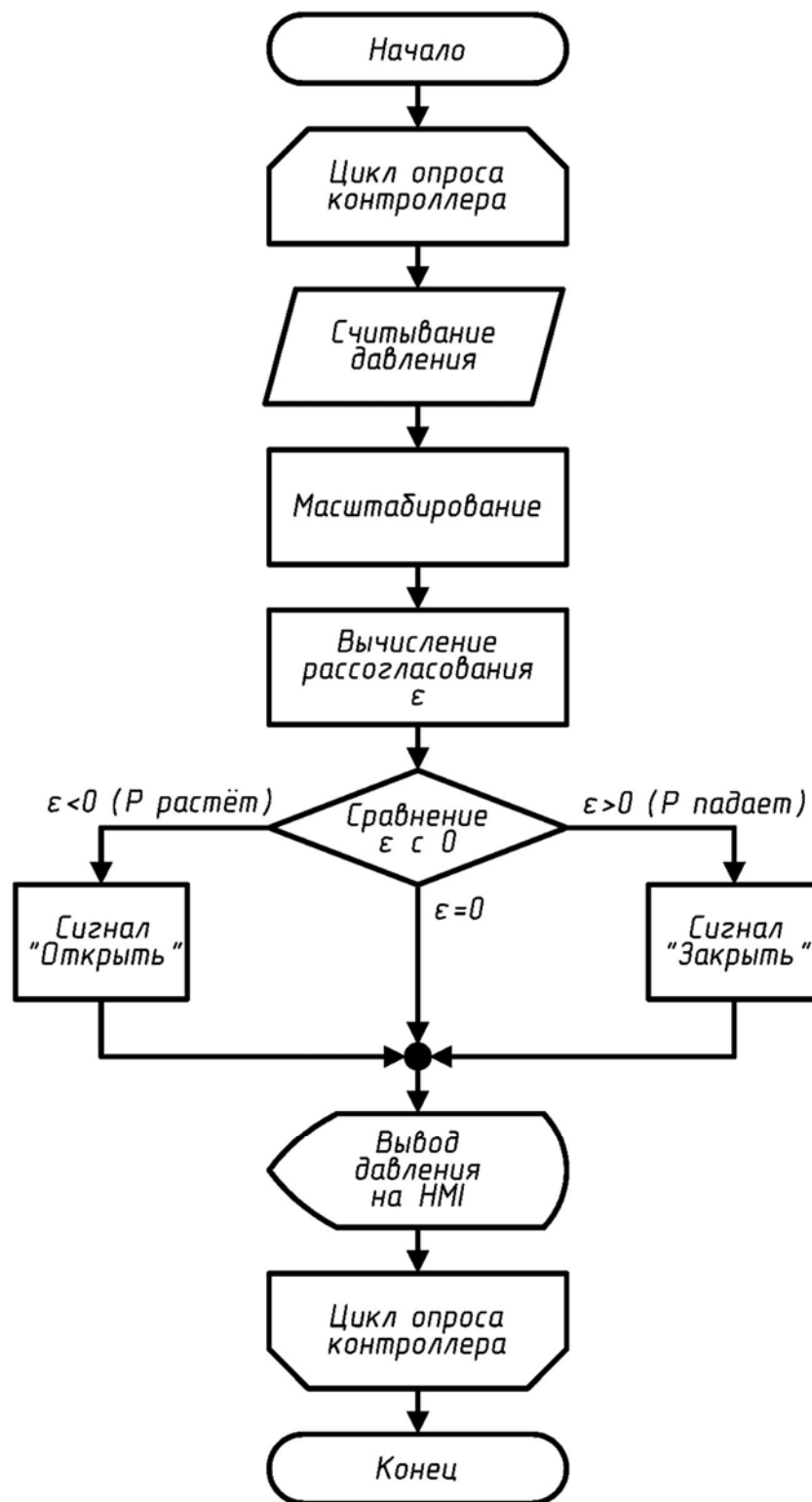


Рисунок 12 – Блок-схема алгоритма регулирования давления

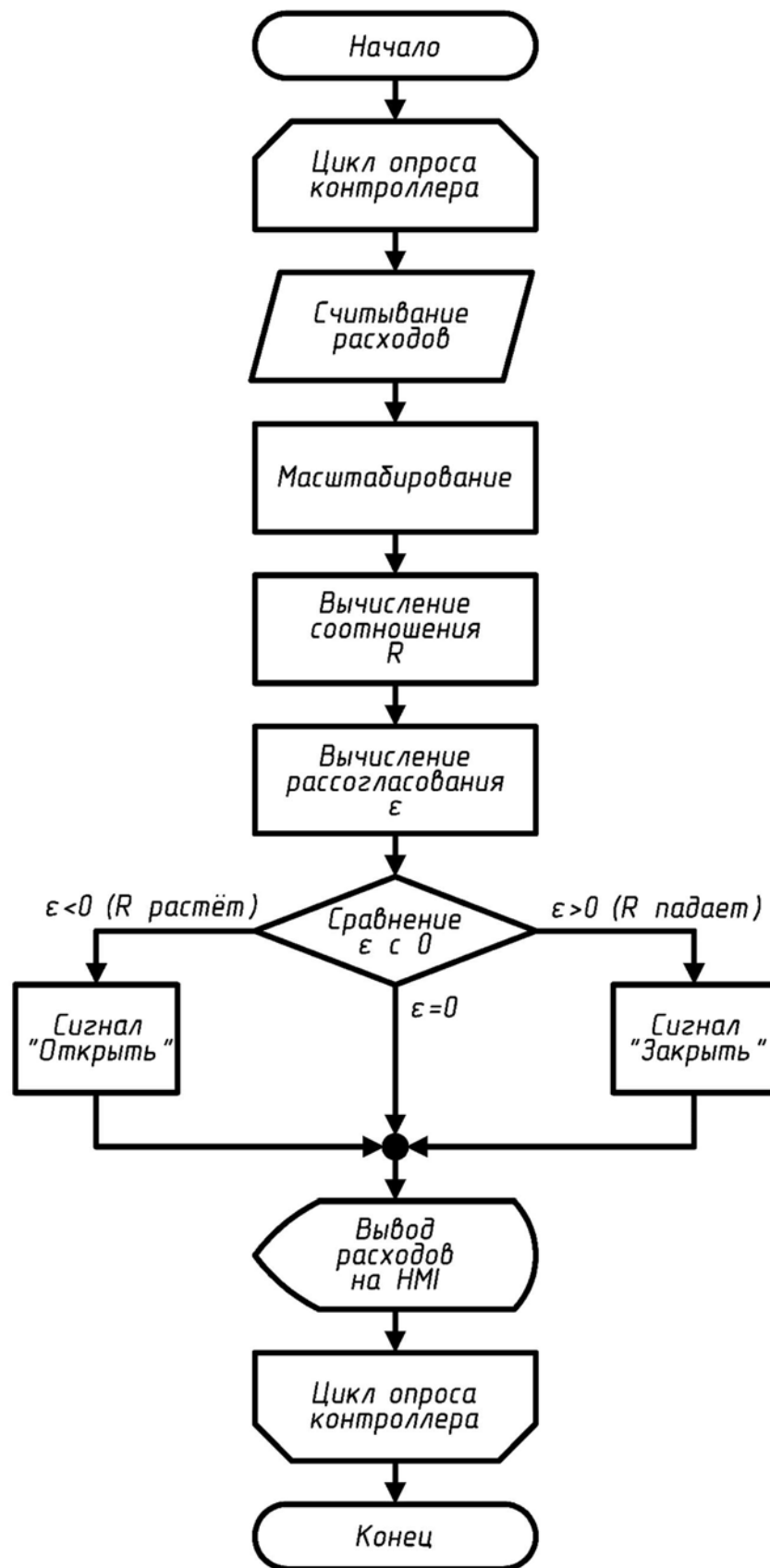


Рисунок 13 – Блок-схема алгоритма регулирования соотношения расходов

3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУ МНП

3.1 Выбор оборудования полевого уровня АСУ МНП

Исходными данными для выбора являются основные технологические параметры процесса. Эти параметры зависят от режима нагрева заготовок. Так как печь может работать с различными марками стали, то таких режимов существует несколько. Все параметры режимов приведены в технологической инструкции на Стан-240. Для подбора датчиков следует руководствоваться максимальными или номинальными значениями. Так же немаловажным критерием выбора того или иного типа оборудования является место измерения параметров.

Значение основополагающих параметров приведено в техническом задании на проектирование.

1) Датчик температуры

В качестве датчиков температуры на «ЧМК» в основном применяются термоэлектрические преобразователи (термопары) и термометры сопротивления фирмы «Теплоприбор». Для унификации аппаратной реализации будем рассматривать выбор датчика именно этой фирмы.

Основными критериями выбора датчика являются температура в печи и габариты печи (см. «Задание на проектирование»).

В зависимости от измеряемой температуры и от необходимой точности измерения применяют либо термометры сопротивления, сигналом которых является изменение сопротивления чувствительного элемента, либо термопары, которые выдают термо-ЭДС. Наибольшее предпочтение отдаётся термометрам сопротивления, так как они проще в использовании. Это объясняется тем, что термопары требуют подключения ко вторичным приборам при помощи специальных термоэлектрических проводов, а также необходимостью компенсации «холодного спая». Даже платиновые термометры сопротивления зачастую предпочтительнее, нежели термопары, несмотря на высокую стоимость.

Ещё одним фактором является наличие унифицированного выходного сигнала на выходе датчика. Для этих целей в датчиках температуры уже установлен блок,

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 31 |

преобразующий соответствующий тип выходного сигнала в унифицированный токовый.

Также стоит обращать внимание на места установки датчиков. От них зависит длина рабочей части выбираемого датчика.

Согласно параметрам верхней сварочной зоны, измеряемая температура может достигать 1300 °С. Термометры сопротивления как с унифицированным токовым выходом, так и с сигналом изменения сопротивления, имеют низкую максимальную контролируемую температуру (около 300 °С для ТСМ и около 500 °С для ТСР). Термопары с токовым выходом так же имеют недостаточную максимальную контролируемую температуру (около 1000 °С).

Исходя из этого, возникает необходимость применения термопары с выходным сигналом в виде термо-ЭДС. Согласно каталогам продукции фирмы «Теплоприбор» выбираем термопару ТПП-0192 с диапазоном измеряемых температур от 0 до 1300 °С (номинальная 1100 °С), номинальной статической характеристикой «S» и с рабочей длиной L=2000 мм.

2) Датчики расхода

Парк приборов для измерения расхода, используемых на «ЧМК» достаточно велик, и как правило фирма-производитель выбирается заказчиком, что и указано в техническом задании. В связи с этим выбор датчиков будем осуществлять по основным критериям. Таковыми являются расходы измеряемых сред, их температура и диаметры трубопроводов.

Существует множество методов измерения расхода. Каждый из них имеет достоинства и недостатки, имеет лучшее применение для определённых типов сред (агрессивных, жидких, вязких, газов, пара). Также расходомеры могут отличаться по методу монтажа (погружные, накладные, полнопроходные).

Одним из важнейших критериев выбора расходомера является также требования к прямым участкам до и после датчика. Согласно технологическим чертежам методической печи (см. рисунок 14) прямые участки для обоих сред не превышают 3,6 м. Учитывая большой диаметр труб, участков с такой длиной будет

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 32 |

недостаточно для большинства полнопроходных расходомеров, так как требуется учитывать также их установочные габариты.

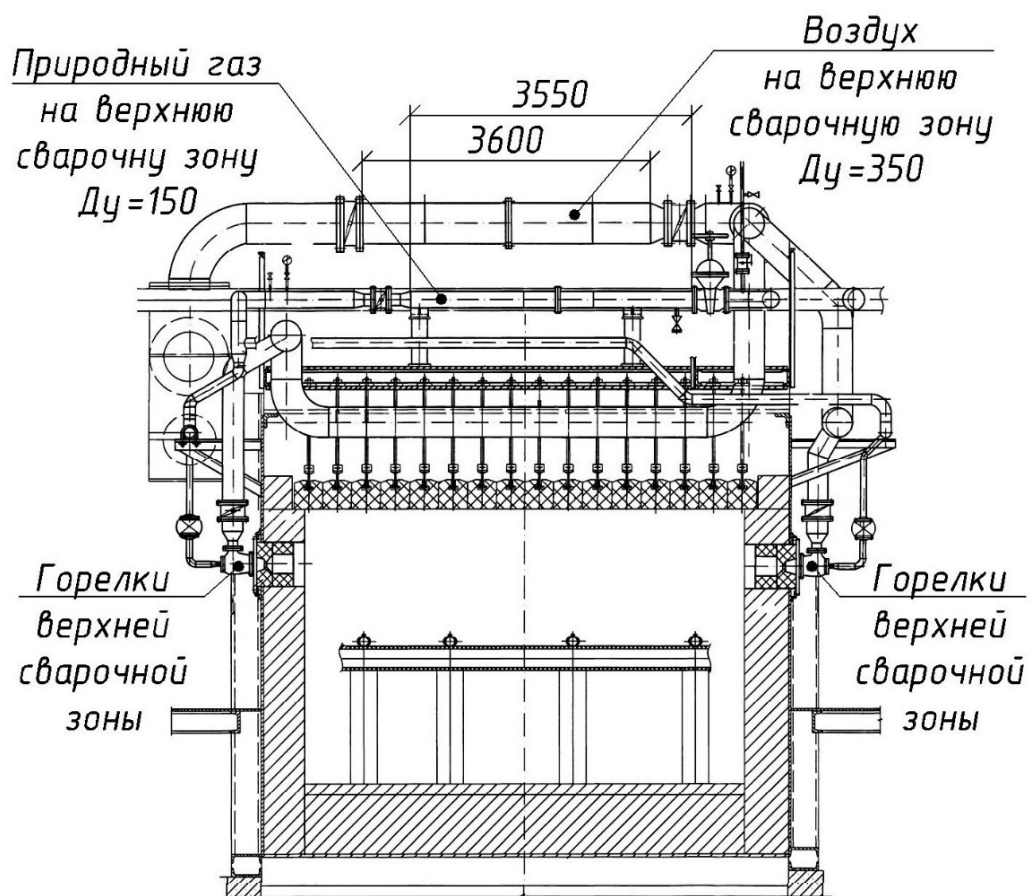


Рисунок 14 – Поперечный разрез методической печи в верхней сварочной зоне

Погружные расходомеры имеют те же методы измерения, что и полнопроходные (вихревой, электромагнитный, турбинный и т.д.), но при этом обладают сравнимо меньшими габаритами и позволяют производить монтаж без снятия давления в трубопроводе. Установка датчиков с использованием струевыпрямителей частично позволяет достичь требуемых условий по прямым участкам, при этом минимизировав погрешность в измерении.

Таким образом выбираем турбинные погружные расходомеры фирмы «Проматис»: для воздуха – Turbo-bar TMP-960, для природного газа – Turbo-bar TMP-600.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | |
| | | | | | 33 | |

3) Датчики давления

Для сохранения унификации датчики давления выбираем той же фирмы, что и расходомеры – «Проматис». Основным критерием выбора является измеряемое давление.

Для измерения давления в трубопроводах природного газа и воздуха выбираем датчики Cerabar S PMC 71, рабочее давление 100 мбар (10 кПа), что соответствует рабочим параметрам сред (см. «Задание на проектирование»).

Для измерения давления в пространстве печи выбираем датчики Cerabar S PMP 71, рабочее давление 1 мбар (100 Па).

4) Датчики наличия пламени

В качестве сигнализаторов пламени применяются фотодатчики, имеющие в качестве выхода сухой контакт или транзисторный ключ. При пропадании пламени состояние контакта меняется на противоположное. На «ЧМК» применяются, как правило, датчики наличия пламени типа ФСП-1.1, имеющих выход в виде сухого контакта.

5) Реверсивный контактор

Для управления электрическими исполнительными механизмами используем реверсивный контактор ERL W3 с плавным пуском двигателя. Контактор предназначен для управления электрическим исполнительным механизмом с трёхфазным или однофазным двигателем.

Преимуществом ERL W3 перед пускателем ПБР – это ощутимо меньшие габариты. Контактор может быть установлен на стандартной DIN-рейке.

Параметры устройства:

- коммутируемая сеть: от 110 до 440 В переменного тока, частота 50 Гц;
- коммутируемый ток: от 0,15 до 8 А;
- управление: 24 В постоянного тока.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 34 |

3.2 Выбор оборудования контроллерного уровня АСУ МНП

Программируемый логический контроллер (ПЛК) является неотъемлемой частью автоматизированных систем управления технологическими процессами. ПЛК – это микропроцессорное устройство, осуществляющее сбор, хранение, обработку и преобразование информации, а также выдачу управляющих команд. ПЛК имеет некоторое конечное количество входов и выходов, предназначенных для подключенных датчиков с различными выходными сигналами, исполнительных механизмов.

Конструктивно ПЛК можно подразделить на три категории:

1. Моноблочные – такие ПЛК представляются в виде одиночного устройства, имеющего некоторое фиксированное количество входов и выходов. Такие ПЛК предназначены для работы в малых системах автоматизации.

2. Модульные – ПЛК подобной структуры состоят из набора модулей, каждый из которых отвечает за определённые операции. В модуле центрального процессора происходит опрос входных сигналов, выполнение пользовательской программы, установка значений выходов. Модули ввода-вывода предназначены для сбора данных с датчиков полевого уровня и выдачи управляющих сигналов.

3. Распределённые – как правило, современные ПЛК модульной структуры имеют возможности для построения распределённых систем управления. Главный вычислительный комплекс (ЦП, центральный процессор) может территориально находиться в одном месте, а модули или даже группа модулей – в другом. Связь с ЦП осуществляется по промышленной сети с использованием протоколов.

К ПЛК, используемых в промышленности предъявляется ряд требований:

- наличие промышленной шины для связи между собой нескольких ПЛК или распределёнными модулями;
- наличие индустриальной шины для связи ПЛК с АРМ-ми операторов;
- наличие ОС реального времени;
- контуры регулирования (встроенные или в виде модулей);
- система резервирования.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 35 |

В настоящее время существует множество фирм производителей ПЛК различной структуры и назначения. Для обеспечения максимальной унификации по использованию тех или иных ПЛК разработан стандарт, требующий от различных изготовителей ПЛК предлагать определённые языки программирования.

Данный стандарт специфицирует следующие основные языки программирования:

1. Sequential Function Chart (SFC) – язык последовательных функциональных блоков.
2. Function Block Diagram (FBD) – язык функциональных блоковых диаграмм.
3. Ladder Diagrams (LAD) – язык релейных диаграмм.
4. Statement List (STL) – язык структурированного текста, высокого уровня.
5. Instruction List (IL) – язык инструкций с аккумулятором и переходом по метке.

1) Контроллер SIMATIC S7-400

SIMATIC S7-400 – это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения систем автоматизации средней и высокой степени сложности. Имеет модульную конструкцию, позволяет применять структуры локального и распределенного ввода-вывода, множество функций, поддерживаются на уровне операционной системы. Эффективному применению контроллеров способствует возможность использования нескольких типов центральных процессоров различной производительности, наличие широкой гаммы модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, функциональных модулей и коммуникационных процессоров. Контроллер позволяет легко нарастить свои возможности установкой дополнительного набора модулей, если алгоритмы управления становятся более сложными и требуют применения дополнительного оборудования.

SIMATIC S7-400 является универсальным контроллером. Установка и замена модулей контроллера, а также подключенных к нему станций систем

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 36 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 270304.2018.390.00 ПЗ | | | | | |

распределенного ввода-вывода может производиться без отключения питания («горячая замена»).

S7-400 поддерживает стандартизированные для всех ПЛК языки программирования LAD, FBD, STL.

Система включает в свой состав:

– Модули блоков питания (PS). Используются для подключения к контроллерам SIMATIC S7-400 к источникам питания постоянного напряжения 24; 48; 60; 120; 230 В или переменного 120; 230 В.

– Модули центральных процессоров (CPU). В составе контроллера могут использоваться центральные процессоры различной производительности. Все центральные процессоры оснащены встроенными интерфейсами MPI и PROFIBUS DP, некоторые модели – встроенным интерфейсом PROFINET. При необходимости, в базовом блоке контроллера может быть использовано до 4 центральных процессоров.

– Сигнальные модули (SM). Предназначены для ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов.

– Коммуникационные модули (CP). Предназначены для организации последовательной передачи данных через PtP интерфейс, построения систем распределенного ввода-вывода на основе PROFIBUS DP и PROFINET IO, обмена данными через промышленные сети PROFIBUS, PROFINET и Industrial Ethernet, а также через Internet.

– Функциональные модули (FM). Предназначены для решения типовых задач управления, к которым можно отнести скоростной счет, позиционирование, автоматическое регулирование и т.д.

– Интерфейсные модули (IM). Используются для построения систем локального и распределенного ввода-вывода.

2) Выбор центрального процессора контроллера

Программируемые контроллеры SIMATIC S7-400 могут комплектоваться 7 типами центральных процессоров. Центральные процессоры отличаются друг от

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 37 |

друга различной вычислительной мощностью, объемами памяти, количеством встроенных интерфейсов и другими параметрами.

Виды центральных процессоров:

- CPU 412-1, CPU 412-2: для построения небольших систем управления и решения задач средней степени сложности;
- CPU 414-2, CPU 414-3: для построения систем управления средней степени сложности с программами большого объема, скоростным выполнением инструкций и интенсивным сетевым обменом данными;
- CPU 416-2, CPU 416-3: для построения сложных систем автоматического управления со сложными алгоритмами обработки информации и интенсивным сетевым обменом данными;
- CPU 417-4: для построения наиболее мощных систем автоматического управления.

Исходя из требований к системе, а также для возможности наращивания системы выбираем центральный процессор CPU 416-3, имеющий следующие характеристики:

- рабочая память 8 МБ кода и 8 МБ данных;
- разъем под интерфейс DP/MPI,
- разъем под интерфейс DP;
- прошивка V7.0.

3) Выбор коммуникационного процессора контроллера

Для связи контроллера с АРМ-ом оператора и сетью комбината используем процессор CP 443-1.

Коммуникационный процессор CP 443-1 обеспечивает возможность подключения программируемых контроллеров SIMATIC S7-400 к сети Industrial Ethernet. Он оснащен встроенным микропроцессором и выполняет автономное управление сетевым обменом данными, разгружая от этих задач центральный процессор контроллера.

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | 38 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | 270304.2018.390.00 ПЗ | | | | |

С помощью CP 443-1 может устанавливаться связь:

– с программаторами, компьютерами, системами человеко-машинного интерфейса;

– с другими системами автоматизации SIMATIC S7.

4) Выбор модуля питания контроллера

Блоки питания предназначены для формирования напряжений, необходимых для работы центральных процессоров и других модулей программируемых контроллеров.

Допускается применение блоков питания двух типов: PS 405 или PS 407. Блоки питания PS 405 используют для своей работы входное напряжение постоянного тока, блоки питания PS 407 – входное напряжение постоянного или переменного тока. Каждый тип блоков питания имеет несколько модификаций, отличающихся допустимым током нагрузки, уровнем входного напряжения и родом входного тока.

В силу технических особенностей, выбираем модуль питания PS-407, с входным напряжением ~220 В, 50 Гц и выходным напряжением =24 В, 4 А.

5) Выбор сигнальных модулей контроллера

Для ввода сигналов с датчиков и для вывода управляющих воздействий требуется использование сигнальных модулей.

Модуль ввода дискретных сигналов

Модули ввода дискретных сигналов предназначены для преобразования входных дискретных сигналов контроллера в его внутренние логические сигналы. Различаются по количеству дискретных сигналов, по способу их группирования.

Выбираем модуль SM 421.

Модуль вывода дискретных сигналов

Модули вывода дискретных сигналов предназначены для преобразования внутренних логических сигналов контроллера в его выходные дискретные сигналы. К выходам модулей могут подключаться соленоидные вентили, реле, контакторы, сигнальные лампы, небольшие двигатели и т.д.

Выбираем модуль SM 422.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 39 |

Модуль ввода аналоговых сигналов

Модули ввода аналоговых сигналов предназначены для аналого-цифрового преобразования входных аналоговых сигналов контроллера и формирования цифровых величин, используемых центральным процессором в процессе выполнения программы. К входам модулей могут подключаться датчики с унифицированными выходными сигналами напряжения или силы тока, термопары, термометры сопротивления.

Выбираем модуль SM 431.

3.3 Разработка схемы автоматизации

Схема автоматизации (функциональная схема) – это основной технический чертёж проекта автоматизации, определяет структуру и характер автоматизации технологического процесса, и оснащение его приборами и средствами автоматизации.

Все средства автоматизации на функциональной схеме изображаются с помощью условных обозначений с указанием функциональных признаков. Каждому устройству на схеме присваивается свой порядковый номер (позиция).

Разработка схемы основывается на выборе методов измерения, регулирования и сигнализации параметров, подборе основных средств и приборов автоматизации и производится параллельно с этим.

Схема автоматизации приведена в документе 270304.2018.390.03.01 С3 графической части проекта.

3.4 Разработка схемы принципиальной

Электрическая принципиальная схема отражает характер электрического подключения приборов, выделение цепей питания, измерения, сигнализации и регулирования. Все средства автоматизации на схеме изображаются условно в виде прямоугольников, внутри которых изображаются принципиально важные для

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 40 |

данного случая клеммы подключения. Каждая клемма маркируется согласно инструкций на приборы или каталоги продукции фирмы производителя.

Провода маркируются согласно следующей последовательности:

- 1) 101-299 – цепи регулирования;
- 2) 301-499 – цепи измерения;
- 3) 501-799 – цепи сигнализации и отсечки;
- 4) 801-999 – цепи питания.

Маркировка приборов осуществляется согласно схеме автоматизации. Но кроме того осуществляется параллельная маркировка приборов по принципу:

- 1) ВР – первичный датчик измерения давления, расхода;
- 2) ВК – первичный датчик измерения температуры;
- 3) ВL – первичный датчик уровня;
- 4) Р – любой вторичный прибор, показывающий или вспомогательный;
- 5) U – блоки питания.

В качестве исключения могут выступать модульные структуры, которые маркируются буквой «А» (в нашем случае это ПЛК и его модули).

Схема электрическая приведена в документе 270304.2018.390.04.01 ЭЗ графической части проекта.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 41 |

4 ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУ МНП

4.1 Разработка прикладного программного обеспечения

Написание прикладного ПО в соответствии с алгоритмами, приведёнными на рисунках 9...13, осуществляется с помощью программного обеспечения SIMATIC TIA Portal Professional V14. Данный пакет включает в себя:

1. Среду программирования STEP 7, в которой осуществляется конфигурация оборудования, привязка тэгов и непосредственно написание исполняемой программы.

2. SCADA-систему WinCC Professional, позволяющей создавать визуализированные интерактивные «окна» для управления процессом с ПК или со специализированных сенсорных панелей оператора. WinCC так же предоставляет возможность привязать тэги исполняемой программы.

3. PLCSIM – программу, имитирующую работу контроллера. Программа позволяет проводить отладку программного кода прежде чем загружать её в настоящий контроллер.

1) Конфигурация оборудования

При создании нового проекта требуется создать конфигурацию оборудования. Это осуществляется в разделе «Devices & Networks». Выбор определённых модулей осуществляется из окна «Hardware catalog». Конфигурация составляется по определённым правилам. В начале устанавливается центральный процессор, слева от него – блок питания. Справа от центрального процессора вначале размещаются различные коммуникационные процессоры, и только потом модули ввода-вывода.

Конфигурация оборудования представлена на рисунке 15.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 42 |

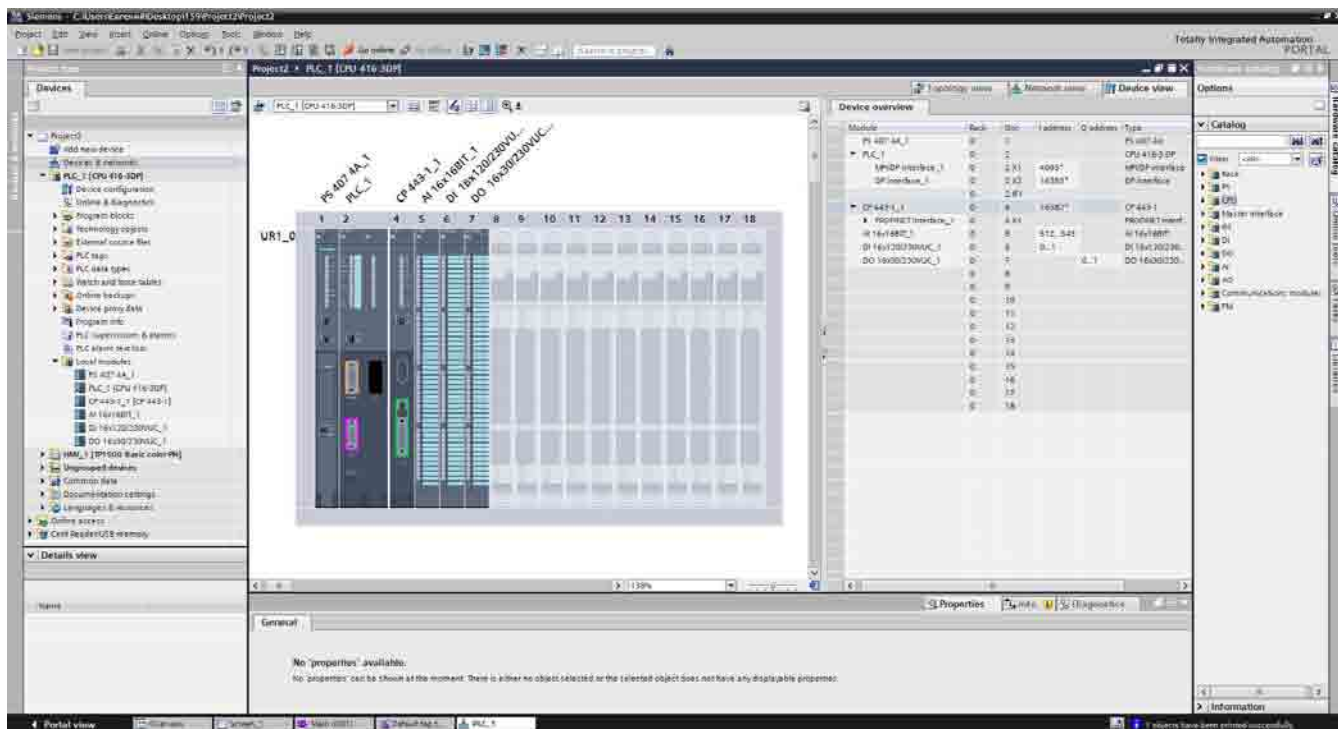


Рисунок 15 – Конфигурация оборудования

Во вкладке «Device overview», отображается таблица, в которой все поставленные модули структурируются и им присваиваются адреса. Эти адреса являются важным элементом, так как на их основе осуществляется привязка тэгов к определённому каналу модуля.

2) Описание тэгов

Для связи исполняемой программы с внешними устройствами, такими как модули контроллера или система визуализации, а также для связи отдельных блоков внутри самой программы используются тэги. Тэги имеют определённый тип данных, наименование, адресацию и могут иметь комментарий.

Тэги составляются определённым образом и отображает тип модулей, с которым он работает. Список тэгов представлен на рисунке 16.

| PLC tags | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|---------|--------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------|--|
| Name | Data type | Address | Retain | Access-ible from HMI/O PC UA | Writa-ble from HMI/O PC UA | Visi-ble in HMI engi-neer-ing | Supervision | Comment |
| Горелка 1 | Bool | %I0.0 | | True | True | True | | |
| Горелка 2 | Bool | %I0.1 | | True | True | True | | |
| Горелка 3 | Bool | %I0.2 | | True | True | True | | |
| Горелка 4 | Bool | %I0.3 | | True | True | True | | |
| Горелка 5 | Bool | %I0.4 | | True | True | True | | |
| Горелка 6 | Bool | %I0.5 | | True | True | True | | |
| МЭО Газ Кон. Откр. | Bool | %I0.6 | | True | True | True | | |
| МЭО Газ Кон. Закр. | Bool | %I0.7 | | True | True | True | | |
| МЭО Воз. Кон. Откр. | Bool | %I1.1 | | True | True | True | | |
| МЭО Воз. Кон. Закр. | Bool | %I1.2 | | True | True | True | | |
| МЭО Дым Кон. Откр. | Bool | %I1.3 | | True | True | True | | |
| МЭО Дым Кон. Закр. | Bool | %I1.4 | | True | True | True | | |
| Температура в топке | Int | %IW512 | | True | True | True | | |
| Давление в топке | Int | %IW514 | | True | True | True | | |
| Давление газа | Int | %IW516 | | True | True | True | | |
| Давление воздуха | Int | %IW518 | | True | True | True | | |
| Расход газа | Int | %IW520 | | True | True | True | | |
| Расход воздуха | Int | %IW522 | | True | True | True | | |
| Клапан на газе | Int | %IW524 | | True | True | True | | |
| Шибер на борове | Int | %IW526 | | True | True | True | | |
| Клапан на воздухе | Int | %IW528 | | True | True | True | | |
| Отсечка газа | Bool | %Q0.0 | | True | True | True | | |
| Рег. темп. Откр | Bool | %Q0.1 | | True | True | True | | |
| Рег. темп. Закр | Bool | %Q0.2 | | True | True | True | | |
| Рег. давл. Откр | Bool | %Q0.3 | | True | True | True | | |
| Рег. давл. Закр | Bool | %Q0.4 | | True | True | True | | |
| Рег. соотн. Откр | Bool | %Q0.5 | | True | True | True | | |
| Рег. соонт. Закр | Bool | %Q0.6 | | True | True | True | | |
| P1 | Real | %MD0 | | True | True | True | | Давление газа после масштабирования |
| P2 | Real | %MD2 | | True | True | True | | Давление воздуха после масштабирования |
| Q1 | Real | %MD4 | | True | True | True | | Расход газа после масштабирования |
| Q2 | Real | %MD6 | | True | True | True | | Расход воздуха после масштабирования |

Рисунок 16 – Редактор тэгов «Tag manager»

| Name | Data type | Address | Retain | Access- ible from HMI/O PC UA | Writa- ble from HMI/O PC UA | Visi- ble in HMI engi- neer- ing | Supervision | Comment |
|-------------------------|-----------|---------|--------|---|---|---|-------------|---|
| Соотношение расходов | Real | %MD8 | | True | True | True | | |
| P3 | Real | %MD10 | | True | True | True | | Давление в топке после масштабирования |
| T1 | Real | %MD12 | | True | True | True | | Температура в топке после масштабирования |
| A1 | Real | %MD14 | | True | True | True | | Положение клапана на газе |
| A2 | Real | %MD16 | | True | True | True | | Положение шибера в борове |
| A3 | Real | %MD18 | | True | True | True | | Положение клапана на воздухе |
| Уставка давления | Real | %MD20 | | True | True | True | | |
| Уставка температуры | Real | %MD22 | | True | True | True | | |
| Уставка соотношения | Real | %MD24 | | True | True | True | | |
| КП температура | Real | %MD26 | | True | True | True | | |
| ТИ температура | Time | %MD28 | | True | True | True | | |
| КП давление | Real | %MD30 | | True | True | True | | |
| ТИ давление | Time | %MD32 | | True | True | True | | |
| КП соотношение | Real | %MD34 | | True | True | True | | |
| ТИ соотношение | Time | %MD36 | | True | True | True | | |
| B1 | Bool | %M38.0 | | True | True | True | | Розжиг |
| B2 | Bool | %M38.1 | | True | True | True | | Работа |
| B3 | Bool | %M38.2 | | True | True | True | | Взвод клапана |
| Низкое давление газа | Bool | %M38.3 | | True | True | True | | |
| Низкое давление воздуха | Bool | %M38.4 | | True | True | True | | |
| Регулятор температуры | Bool | %M38.5 | | True | True | True | | |
| Регулятор давления | Bool | %M38.6 | | True | True | True | | |
| Регулятор соотношения | Bool | %M38.7 | | True | True | True | | |
| Руч. темп. Откр | Bool | %M39.0 | | True | True | True | | |
| Руч. темп. Закр | Bool | %M39.1 | | True | True | True | | |
| Руч. давл. Откр | Bool | %M39.2 | | True | True | True | | |
| Руч. давл. Закр | Bool | %M39.3 | | True | True | True | | |
| Руч. соотн. Откр | Bool | %M39.4 | | True | True | True | | |
| Руч. соотн. Закр | Bool | %M39.5 | | True | True | True | | |

Рисунок 16 (окончание) – Редактор тэгов «Tag manager»

Вся программа написана в организационном блоке OB1. Данный блок обрабатывается операционной системой центрального процессора ПЛК непрерывно. Время опроса ограничено значением 150 мс. Внутри блока могут вызываться функциональные блоки или функции.

Организационный блок OB1 обладает локальными данными. На рисунке 17 показана таблица этих данных. Здесь переменные «OB1_***» являются временными переменными по умолчанию. Эта таблица может быть расширена пользовательскими переменными.

| Main | | | | | |
|----------------|-------------------|--------|---------------|------------------|---|
| Name | Data type | Offset | Default value | Super- vision | Comment |
| ▼ Temp | | | | | |
| OB1_EV_CLASS | Byte | ... | | | Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1) |
| OB1_SCAN_1 | Byte | ... | | | 1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1) |
| OB1_PRIORITY | Byte | ... | | | Priority of OB Execution |
| OB1_OB_NUMBR | Byte | ... | | | 1 (Organization block 1, OB1) |
| OB1_RESERVED_1 | Byte | ... | | | Reserved for system |
| OB1_RESERVED_2 | Byte | ... | | | Reserved for system |
| OB1_PREV_CYCLE | Int | ... | | | Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds) |
| OB1_MIN_CYCLE | Int | ... | | | Minimum cycle time of OB1 (milliseconds) |
| OB1_MAX_CYCLE | Int | ... | | | Maximum cycle time of OB1 (milliseconds) |
| OB1_DATE_TIME | Date_And_Ti me | ... | | | Date and time OB1 started |
| K1 | Bool | ... | | | |
| K2 | Bool | ... | | | |
| K3 | Bool | ... | | | |
| K4 | Bool | ... | | | |
| K5 | Bool | ... | | | |
| Z1 | Word | ... | | | |
| Z2 | Word | ... | | | |
| Z3 | Word | ... | | | |
| Z4 | Word | ... | | | |
| Z5 | Word | ... | | | |
| Z6 | Word | ... | | | |
| Z7 | Word | ... | | | |
| Z8 | Word | ... | | | |
| Z9 | Word | ... | | | |
| F | Bool | ... | | | |
| Constant | | | | | |

Рисунок 17 – Локальные данные блока OB1

3) Описание программы

В качестве языка программирования использовался язык релейно-контактной логики LAD. Для удобства восприятия и написания программы она разбивается на «сети» или «Network».

Network 1: ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

В этой сети принимаются сигналы от датчиков давления в трубопроводах природного газа и воздуха (тэги «Давление газа» и «Давление воздуха»). Эти сигналы подаются на вход «IN» блоков «SCALE» и там масштабируются. Кроме того, в каждой ветви установлен блок компаратора. Он предназначен для сравнения текущих значений параметров, поступающих с выходов «OUT» блоков «SCALE» (тэги «P1» и «P2»), с некоторыми критическими значениями давлений. Блок компаратора является нормально разомкнутым элементом, то есть он не пропускает поток энергии через себя, если результат сравнения равен False. Если же значения ниже критических, то результат сравнения становится True, после чего поток энергии начинает протекать через катушки. К этим катушкам привязаны тэги «Низкое давление газа» и «Низкое давление воздуха».

Схема сети Network 1 показана на рисунке 18.

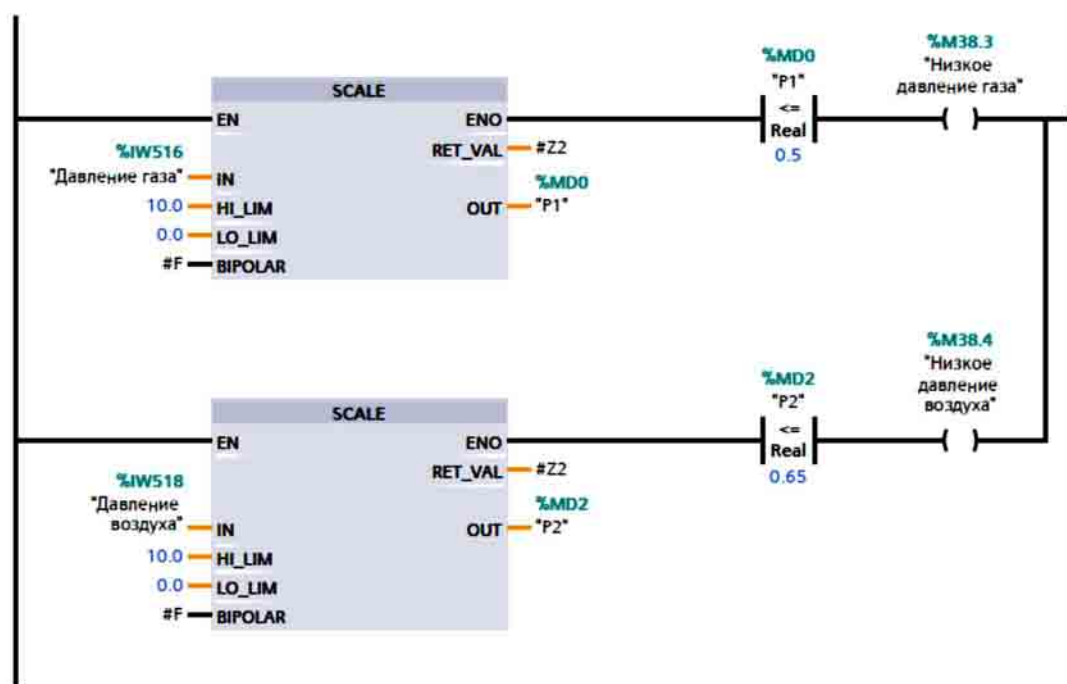


Рисунок 18 – Network 1: Измерение давления энергоносителей

Network 2: ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ И ВЫЧИСЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ

В этой сети принимаются сигналы от датчиков расхода в трубопроводах природного газа и воздуха (тэги «Расход газа» и «Расход воздуха»). Эти сигналы подаются на вход «IN» блоков «SCALE» и там масштабируются. Так же в сети установлен блок деления «DIV». Он принимает два числа в формате Real с выходов «OUT» блоков «SCALE» – масштабированные значения расходов (тэги «Q1» и «Q2») – на входы «IN1» и «IN2» блока «DIV». Тэг «Соотношение расходов» будет принимать с выхода «OUT» блока «DIV» результат деления «IN1 / IN2».

Схема сети Network 2 показана на рисунке 19.

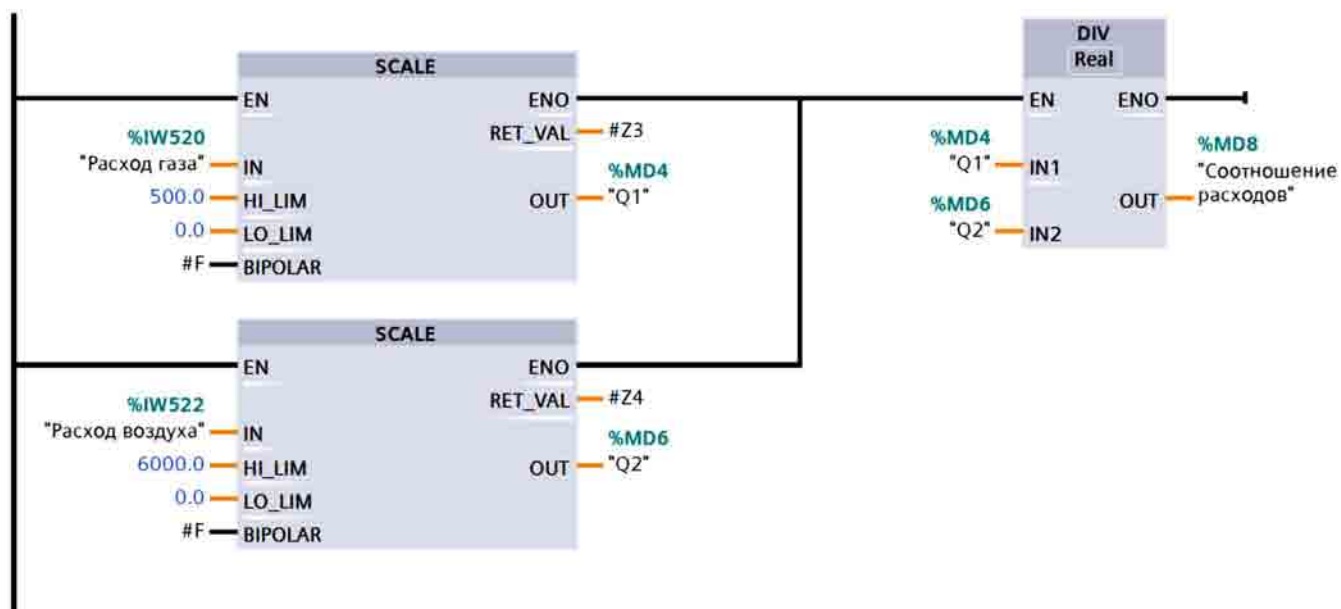


Рисунок 19 – Network 2: Измерение расхода и вычисление соотношения

Network 3: ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ В ТОПКЕ ПЕЧИ

В этой сети принимаются сигналы от датчиков давления и температуры, установленных в футеровки печи (тэги «Давление в топке» и «Температура в топке»). Эти сигналы подаются на вход «IN» блоков «SCALE» и там масштабируются. Тэги «P3» и «T1» используются для отображения реальных значений параметров на панели оператора.

Схема сети Network 3 показана на рисунке 20.

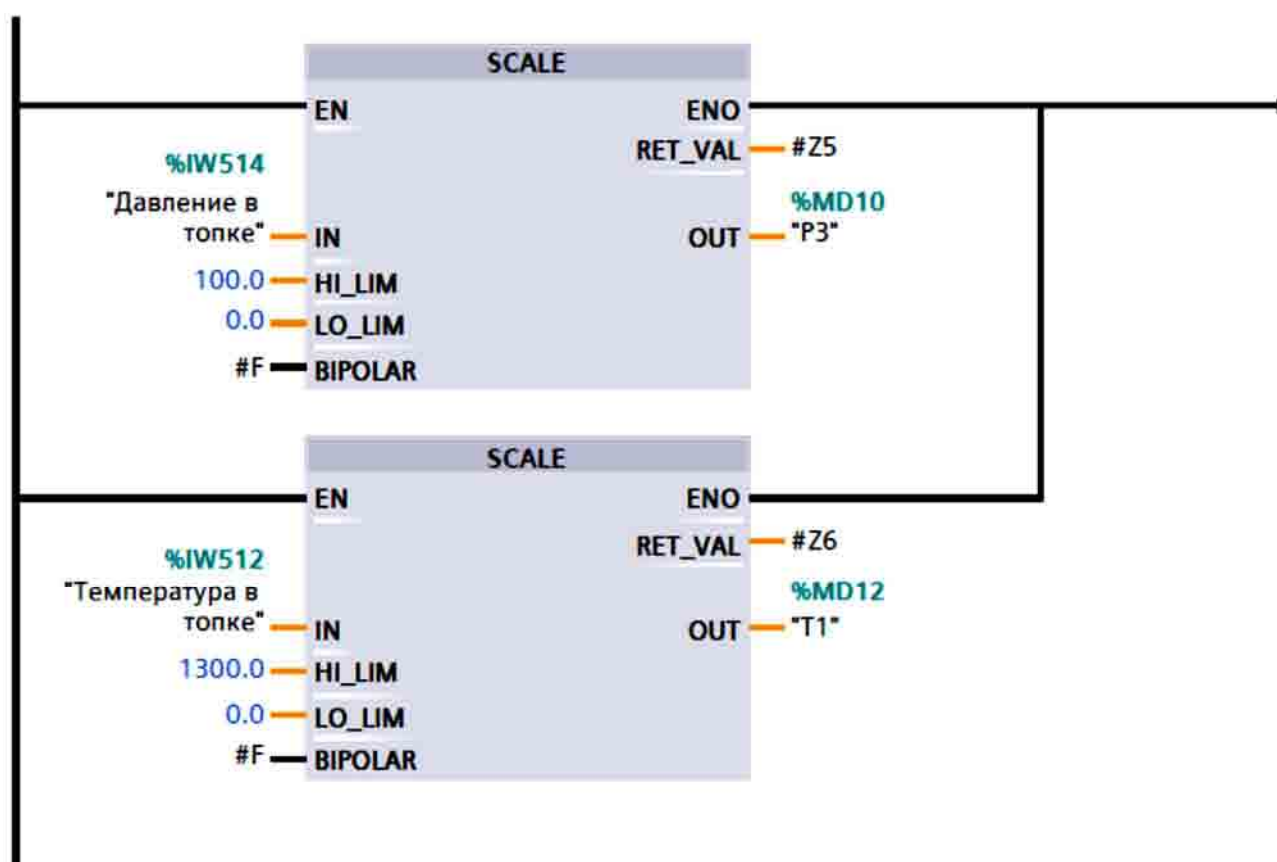


Рисунок 20 – Network 3: Измерение параметров в топке печи

Network 4: ПОЛОЖЕНИЕ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ

В этой сети принимаются сигналы от датчиков положения, встроенных в исполнительные механизмы (тэги «Клапан на газе», «Шиббер на борове» и «Клапан на воздухе»). Эти сигналы подаются на вход «IN» блоков «SCALE» и там масштабируются. Тэги «A1», «A2» и «A3» используются для отображения положения регулирующих органов на панели оператора в процентах

Схема сети Network 4 показана на рисунке 21.

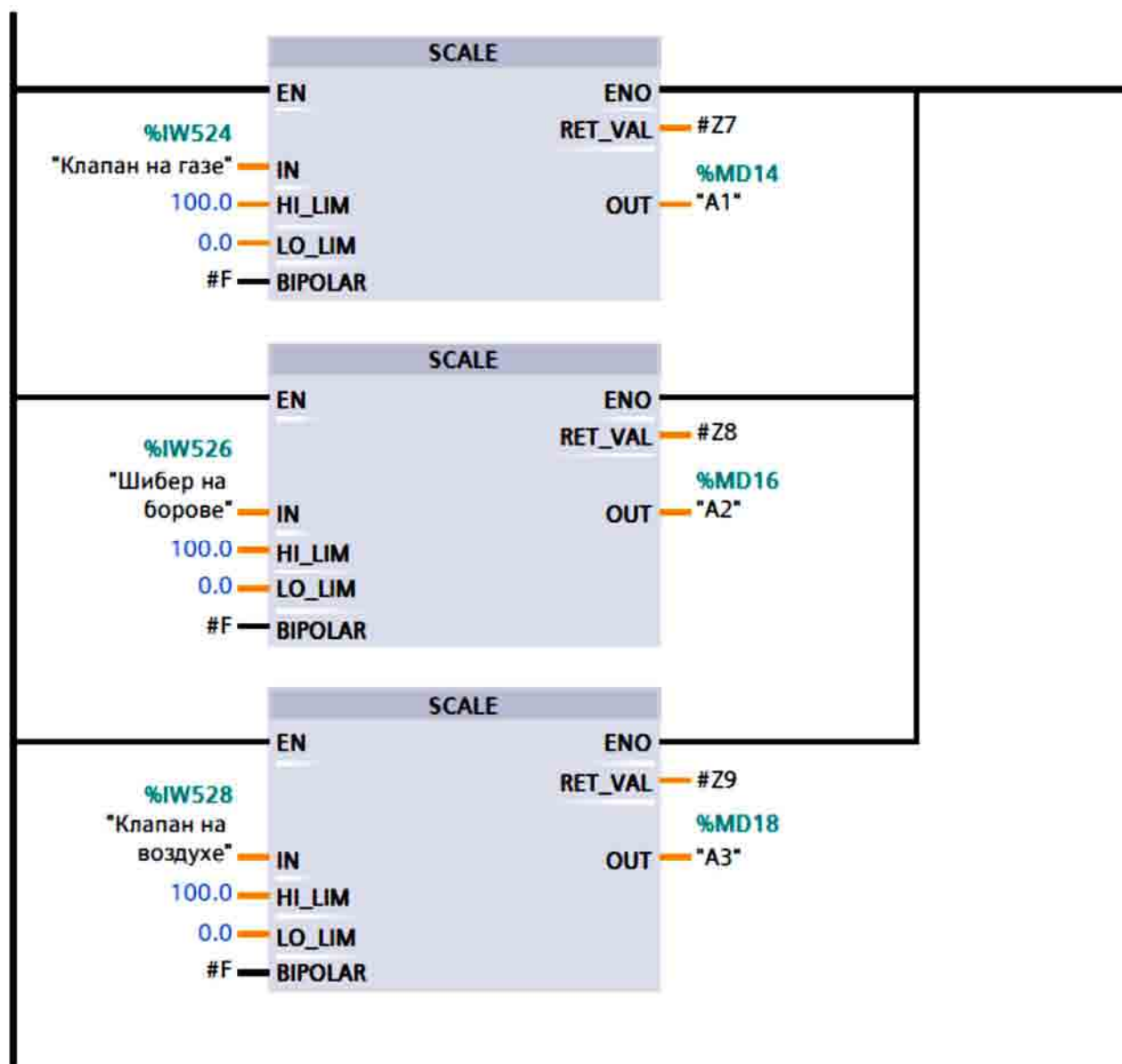


Рисунок 21 – Network 4: Положение регулирующих органов

Network 5: РЕГУЛИРОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ТОПКЕ

Network 6: РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ТОПКЕ

Network 7: РЕГУЛИРОВАНИЕ СООТНОШЕНИЯ РАСХОДОВ

Данные три сети содержат только блоки шагового ПИ-регулятора «CONT_S». Значение уставки задаётся с панели оператора, для этого используется вход «SP_INT». Текущее значение регулируемой величины поступает на вход «PV_IN». Для этого используются тэги соответствующего регулируемого параметра, то есть тэги «P3», «T1» и «Соотношение расходов»

Параметры регуляторов – коэффициент усиления (вход «GAIN») и постоянная времени интегрирования (вход «TI») задаются так же с панели оператора.

Важными выходными параметрами являются сигналы с выходов «QLMNUP» и «QLMNDN», что соответствует сигналам «Открыть» и «Закрыть». К этим выходам привязаны тэги модуля вывода дискретных сигналов, который связан с контакторами, управляющими исполнительными механизмами.

Входы «LMNR_HS» и «LMNR_LS» связаны с тэгами конечных выключателей исполнительных механизмов. Это позволяет реализовать прекращение подачи сигналов «Открыть» и «Закрыть» при достижении исполнительными механизмами одного из крайних положений.

Переключение регулятора на ручной режим управления происходит при подаче логической единицы на вход «LMNS_ON». Включение режима осуществляется с помощью кнопки на панели оператора.

В ручном режиме управления появляется возможность подавать сигналы управления с панели оператора. Для этого служат входы «LMNUP» и «LMNDN».

На вход «MTR_TM» задаётся время полного хода двигателя от 0% до 100%. Этот параметр принимается из паспорта соответствующего исполнительного механизма и составляет для «давления в топке» – 63 сек., для «температуры в топке» – 63 сек., и для «соотношения расходов» – 25 сек.

Схемы сетей Network 5, 6 и 7 показаны на рисунках 22, 23 и 24 соответственно.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 51 |

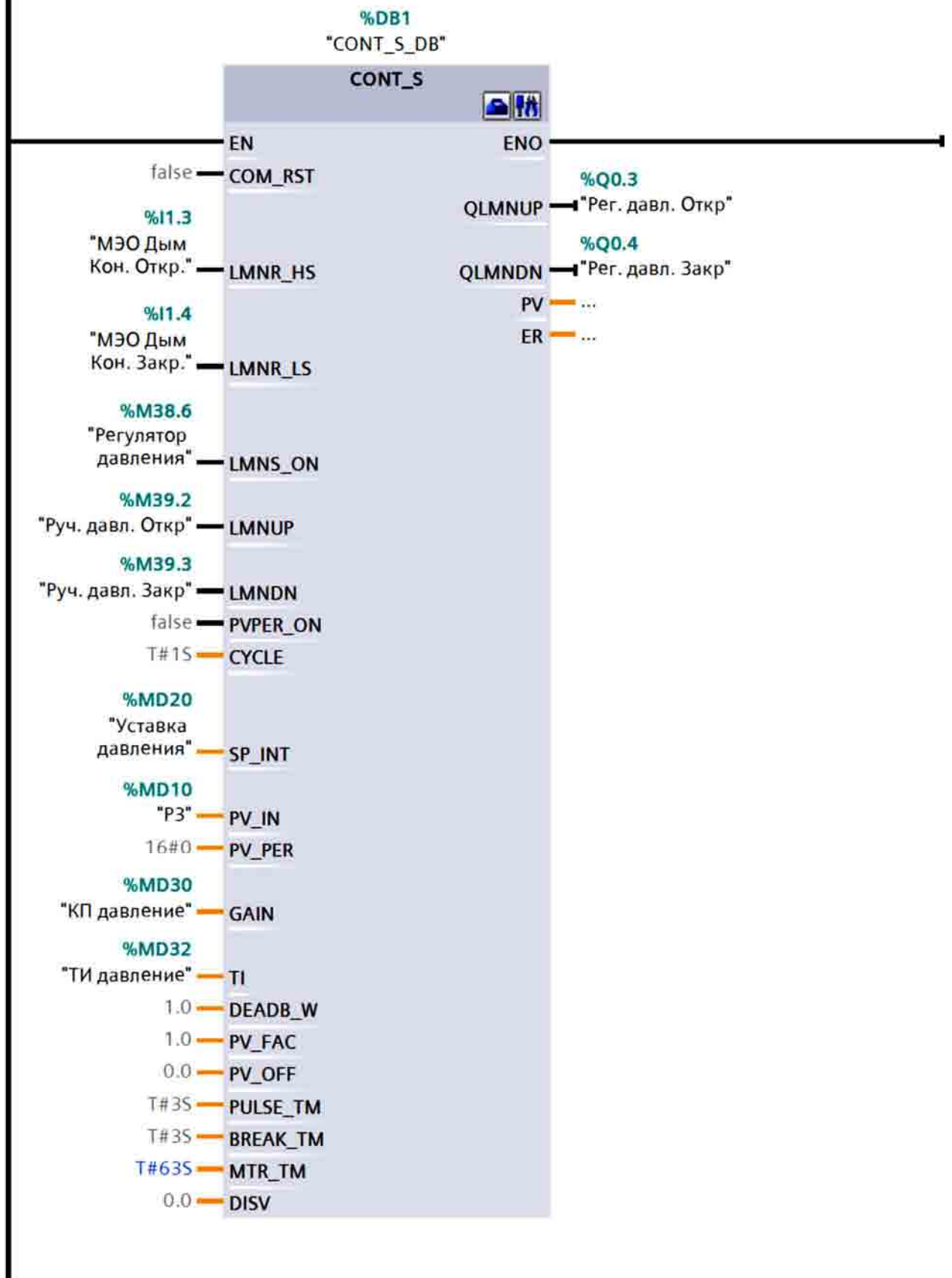


Рисунок 22 – Network 5: Регулирование давления в топке

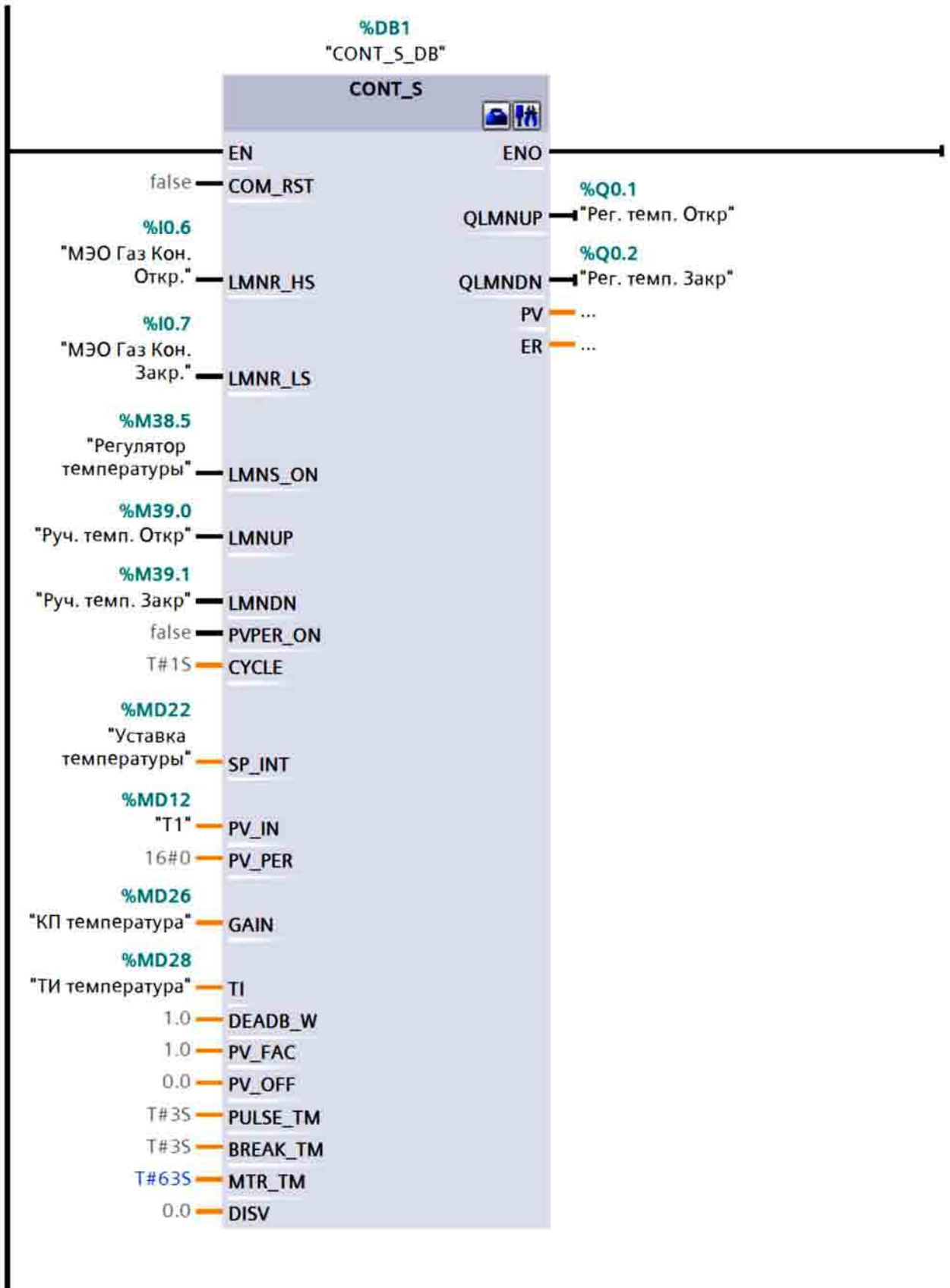


Рисунок 23 – Network 6: Регулирование температуры в топке

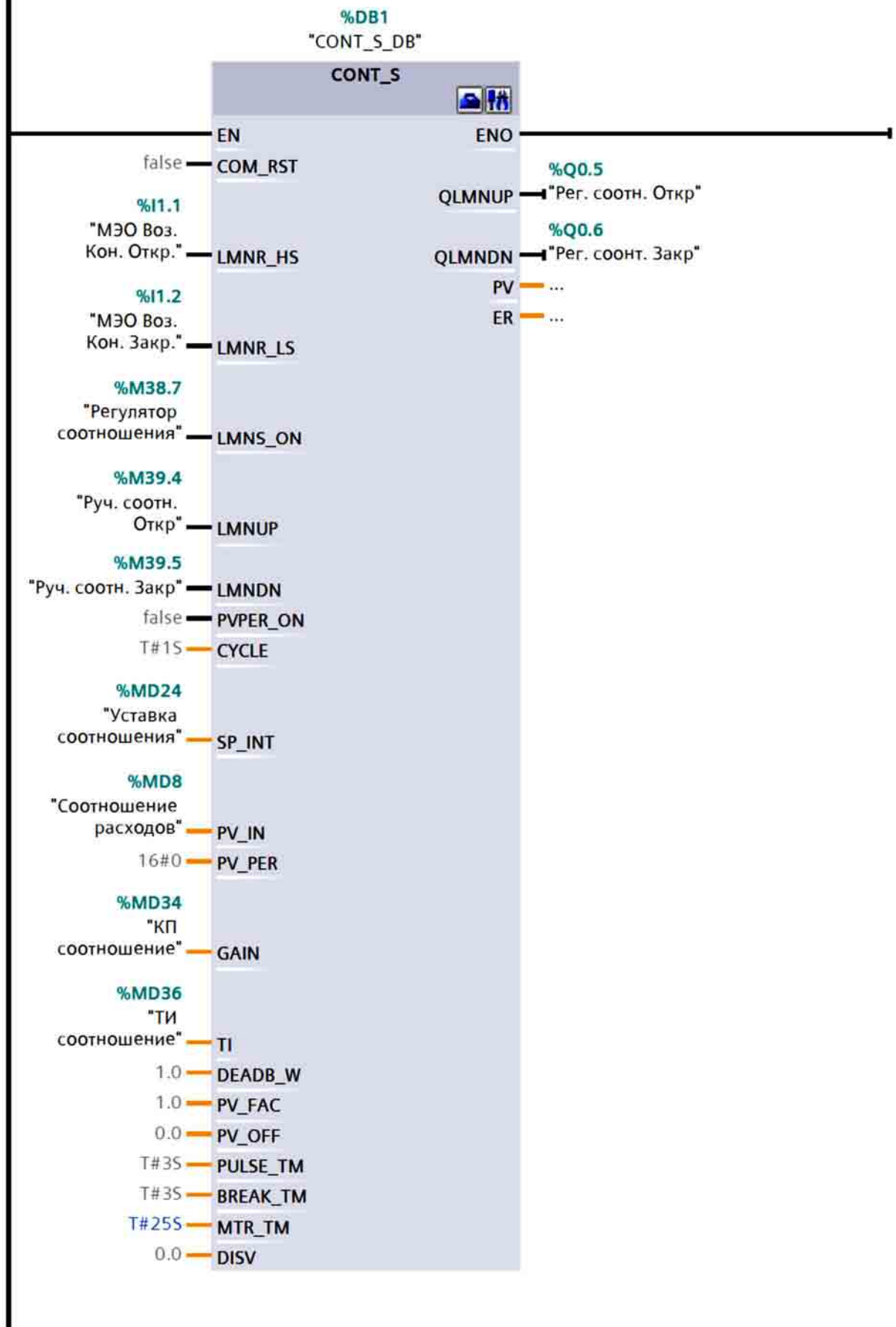


Рисунок 24 – Network 7: Регулирование соотношения расходов

Network 8: НАЛИЧИЕ ПЛАМЕНИ

Сеть состоит из шести нормально открытых контактов, каждый из которых соответствует одной из горелок верхней сварочной зоны (тэги «Горелка 1», «Горелка 2», «Горелка 3», «Горелка 4», «Горелка 5», «Горелка 6»). Завершает сеть катушка с внутренним тэгом «#К3». В случае наличия пламени в каждой из шести горелок через катушку «#К3» проходит энергия.

Схема сети Network 8 показана на рисунке 25.



Рисунок 25 – Network 8: Наличие пламени

Network 9: ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЖИМА «РОЗЖИГ»

Сеть предназначена для включения режима «Розжиг». Состоит из одного нормально открытого контакта с тэгом «B1» и катушки типа «Set» с внутренним тэгом «#K4». Сигнал на «B1» поступает с панель оператора и устанавливает тэг «#K4» в единицу.

Схема сети Network 9 показана на рисунке 26.

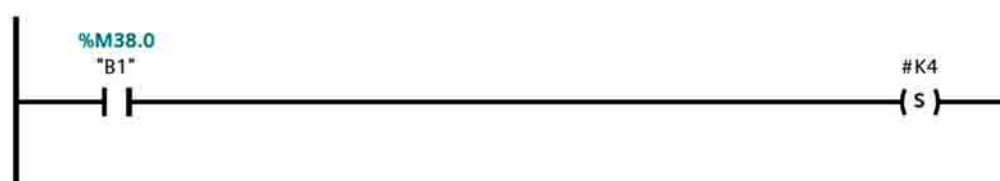


Рисунок 26 – Network 9: Включение режима «Розжиг»

Network 10: ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЖИМА «РАБОТА»

Сеть предназначена для включения режима «Работа». Состоит из одного нормально открытого контакта с тэгом «B2» и двух катушек типа «Reset», включёнными параллельно с внутренними тэгами «#K4» и «#K5». Сигнал на «B2» поступает с панель оператора и устанавливает тэги «#K4» и «#K5» в ноль.

Схема сети Network 10 показана на рисунке 27.

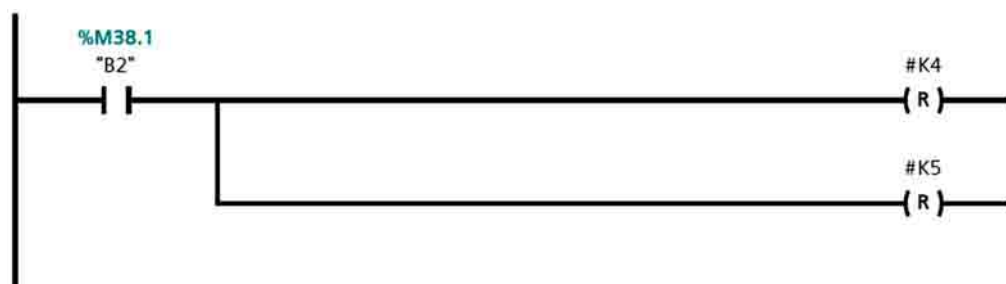


Рисунок 27 – Network 10: Включение режима «Работа»

Network 11: ВЗВОД ОТСЕЧНОГО КЛАПАНА

Сеть состоит из одного нормально открытого контакта с тэгом «B3» и катушки типа «Set» с внутренним тэгом «#K5». Сигнал на «B3» поступает с панель оператора и устанавливает тэг «#K5» в единицу.

Схема сети Network 11 показана на рисунке 28.

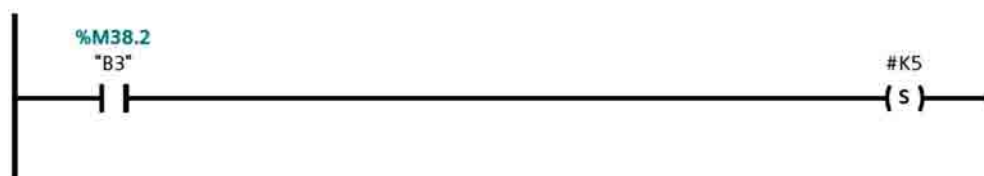


Рисунок 28 – Network 11: Взвод отсечного клапана

Network 12: ОТСЕЧКА И ПУСК

Сеть предназначена для реализации отсечки природного газа по нескольким параметрам: Давление природного газа и воздуха, а также наличие пламени. Схема работает в двух режимах – «Розжиг» и «Работа». Рассмотрим работу сети в каждом из них.

Схема сети Network 12 показана на рисунке 29.

Рабочим является режим «Работа». Контакты «#К4» и «#К5» остаются разомкнутыми, так как из сети 10 им присваивается ноль. В рабочем режиме давления газа и воздуха выше критически низкого, поэтому нормально открытые контакты «Низкое давление газа» и «Низкое давление воздуха» остаются закрытыми (см. работу сети Network 1). Так же в рабочем режиме есть пламя на всех горелках зоны, поэтому нормально открытый контакт «#К3» является закрытым (см. работу сети Network 8). Таким образом весь поток энергии проходит по ветви «Низкое давление газа» → «Низкое давление воздуха» → «#К3» и достигает катушки «Отсечка газа». Подача логической единицы на клапан связана с тем, что как правило, отсечные клапаны представляют собой нормально закрытые устройства. В случае нарушения одного из условий рабочего режима цепь разрывается, и на тэг «Отсечка газа» подаётся логический ноль.

После этого цепь должна быть переведена в режим розжига. Это осуществляется с панели оператора по нажатию кнопки (см. работу сети Network 9). В данном режиме необходимо открыть отсечной клапан. Требуется игнорировать наличие пламени в печи, а также давление природного газа – это связано с тем, что отбор давления газа осуществляется после запорного клапана, и пока он закрыт, то нет и давления. Этим и объясняется положение контакта «Низкое давление газа» после ветвления сети в нижней ветви. Контакт же «Низкое давление воздуха» расположен до ветвления, поэтому он участвует как в отсечке газа, так и в розжиге печи.

В режиме «Розжиг» сеть работает следующим образом. В начале поток энергии проходит через «Низкое давление воздуха» и «#К4». После того, как на панели оператора была нажата кнопка «Взвод клапана», но поток начинает проходить так

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 57 |

же и через контакт «#K5». Тем самым на тэг «Отсечка газа» подаётся единица, а значит клапан открыт.

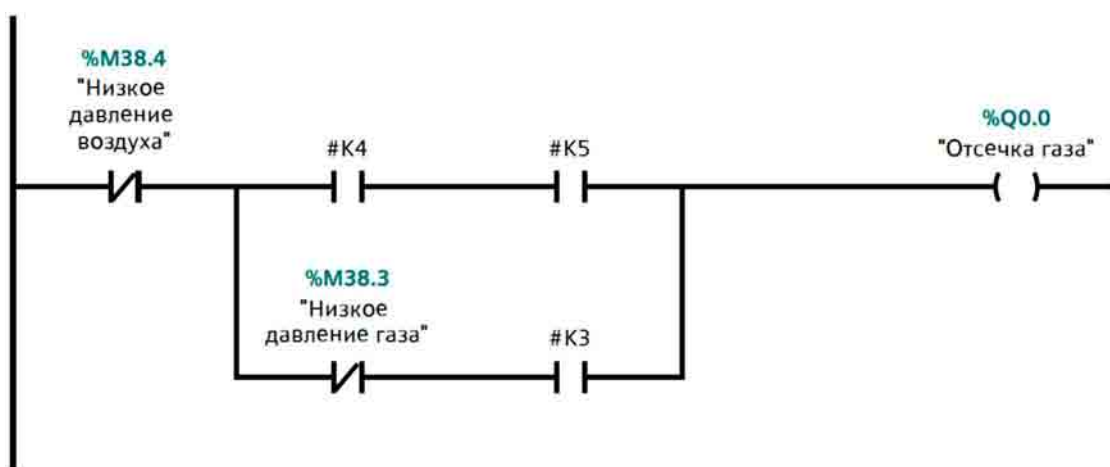


Рисунок 29 – Network 12: Отсечка и пуск

4.2 Разработка пользовательского программного обеспечения

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных) – это программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

Основными областями применения SCADA-систем являются:

- производство, управление передачей и распределением электроэнергии;
- промышленное производство;
- водозабор, водоочистка и водораспределение;
- добыча, транспортировка и распределение нефти и газа;
- управление космическими объектами;
- управление на различных видах транспорта;
- телекоммуникации;
- военная область. [11, стр. 12]

Главное назначение SCADA – взаимодействие оператора с технологическим процессом посредством человеко-машинного интерфейса (HMI).

Программный пакет SCADA состоит из трех компонентов:

1. Среда разработки. В ней создаются мнемосхемы, определяются и привязываются к аппаратным средствам входные и выходные сигналы и параметры, разрабатываются алгоритмы управления и назначаются права операторов.
2. Среда исполнения. В ней выполняется разработанное ПО.
3. Сервер ввода-вывода. Ориентированы на использование с различными промышленными контроллерами.

В настоящее время в России распространены как зарубежные, так и отечественные SCADA. Наиболее распространёнными являются:

- WinCC, фирма Siemens, Германия;
- Genesis32, фирма Iconics, США;
- InTouch, фирма Wonderware, США;
- TRACE MODE, фирма AdAstra Research Group, Россия;
- Master SCADA, фирма ИнСат, Россия;
- Круг-2000, НПФ «Круг», Россия. [12, стр. 74]

По своим функциональным возможностям перечисленные SCADA практически идентичны. Редактор базы каналов приведён в соответствие со стандартом, определяющим синтаксис языков программирования ПЛК (то есть FBD, LAD, STL, SFC, IL). Данные системы, также, имеют открытую архитектуру с возможностью дополнения функциями собственной разработки.

1) Разработка HMI в WinCC

WinCC позволяет создавать визуализацию как на основе ПК, так и на специализированных панелях операторов.

После создания проекта АСУ ТП в программе ТИА Portal разработку визуализации и исполняемой программы можно вести параллельно в одном проекте. Одновременно открыв окна кода программы, экрана с визуализацией, редактора тэгов и конфигурации оборудования разработка проекта происходит очень комфортно, переход от одного окна к другому осуществляется по щелчку мыши.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 59 |

Для изображения технологического процесса существует библиотека основных графических элементов. Эти элементы сами по себе не имеют встроенной анимации. Однако им можно назначить некоторые однотипные типы анимации. Например, изменение цвета и видимость.

Наиболее богатым является выбор событий. Событие (Event) – это некоторое действие, после которых выполняется определённая последовательность функций. События существуют не для всех элементов, а только для нескольких функциональных, таких как кнопка, переключатель и текстовое поле. Для каждого из этих элементов события могут отличаться, но исполняемые функции (собственно действия) являются общими для всех. Это предоставляет относительно широкий функционал при создании как простых, так и сложных систем визуализации, но максимально полными и интерактивными в той мере, в которой это необходимо.

2) Общее описание

На рисунке 30 представлен общий вид визуализации управления тепловым режимом печи.

Основной объект изображён с помощью линий. Изображение повторяет профиль печи в продольном разрезе. Трубопроводы, датчики и клапаны изображены с использованием библиотеки стандартных элементов.

На трубопроводах природного газа и воздуха расположены датчики давления и расхода и исполнительные механизмы с регулирующими органами. Каждому из этих элементов соответствует поле, показывающее текущее значение измеряемой величины и процент открытия регулирующего органа. Поля, отвечающие за отображение давлений газа и воздуха, могут менять заливку цветом и используются для сигнализации о низком давлении одного из параметров. Кроме того, на трубопроводе природного газа расположен запорный клапан.

В левой области печи расположены два элемента, изображающие датчики давления и температуры в топке печи, и поля вывода соответствующих значений.

Нижняя часть окна поделена на три части, каждая из которых соответствует одному из регуляторов. Данные области включают заголовок, поле уставки, кнопку

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 60 |

переключения режимов работы регуляторов (автоматический или ручной), параметры регуляторов и кнопки управления «Открыть» и «Закрыть», которые становятся доступными лишь в ручном режиме работы регуляторов.

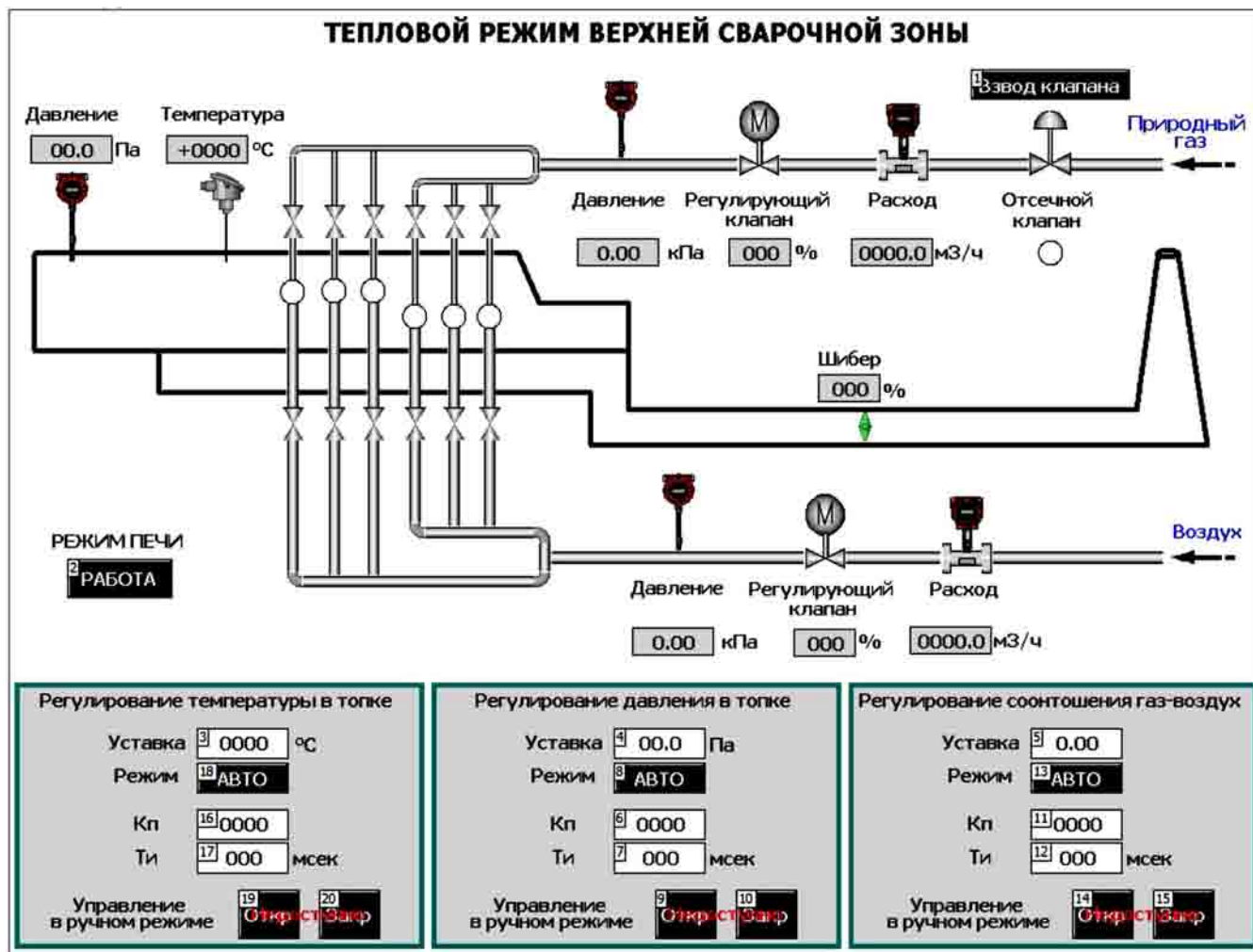


Рисунок 30 – Окно визуализации панели оператора

3) Основные элементы

Рассмотрим некоторые элементы, из которых состоит визуализация, более подробно.

Отображение горелок

Горелки зоны изображены с помощью кругов. Каждый из этих кругов связан с тэгом одной из горелок. Круг может менять цвет в зависимости от того, какое значение принимает тэг: 1 – зелёный, значит есть пламя, 0 – красный, нет пламени.

Свойства одного из кругов представлены на рисунке 31.

| Circle_1 | | | |
|---------------------------------|---------------|-------------------------|-------------|
| Type | Circle | | |
| Appearance | | | |
| Background color | 255, 255, 255 | Background fill pattern | Solid |
| Border width | 1 | Line style | Solid |
| Border color | 0, 0, 0 | | |
| Layout | | | |
| X position | 382 | Y position | 239 |
| Width | 20 | Height | 20 |
| Radius | 10 | | |
| Miscellaneous | | | |
| Name | Circle_1 | Layer | 0 - Layer_0 |
| Dynamizations\Appearance | | | |
| Tag - Cycle | Горелка 1 - | Data type | Range |
| Range | 0..0 | Foreground color | 0, 0, 0 |
| Background color | 255, 0, 31 | Flashing | No |
| Range | 1..1 | Foreground color | 0, 0, 0 |
| Background color | 145, 218, 21 | Flashing | No |

Рисунок 31 – Свойства круга Circle_1

Из графы Dynamizations\Appearance можно видеть, что круг связан с тэгом «Горелка 1» (параметр Tag – Cycle). При значении параметра Range = 0...0 параметр Background color (заливка) приобретает цвет с кодом RGB=255.0.31, что соответствует красному цвету. При значении параметра Range = 1...1 параметр Background color приобретает цвет с кодом RGB=145.218.21, что соответствует зелёному цвету. По такому же принципу организованы остальные горелки горелки.

По тому же принципу организована анимация состояния запорного клапана. Под запорным клапаном расположен круг, связанный с тэгом «Отсечка газа». Таким образом, если клапан открыт, то заливка круга зелёная, если клапан закрыт – красная.

Отображение окон ввода и вывода данных

Для отображения окон для ввода или вывода значений различных цифровых типов данных применяется поле ввода-вывода данных «I/O Field». Инструмент имеет несколько параметров, позволяющих настраивать ввод и вывод данных под определённый тип.

Поле ввода-вывода используется в проекте для:

- вывода текущих значений измеряемых величин;

- вывода информации о положении регулирующих органов;
- ввода уставок для регулятора;
- ввода параметров регулятора;

Свойства полей ввода-вывода на примере поля, отвечающего за вывод давления природного газа представлены на рисунке 32.

| I/O field_1 | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|--------------|
| Type | I/O field | | | |
| General | | | | |
| Process value | 0 | Mode | Output | |
| Display format | Decimal | Shift decimal point | 0 | |
| Field length | 4 | Show leading zeros | Unchecked | |
| Format pattern | 9.99 | | | |
| Appearance | | | | |
| Background color | 218, 218, 218 | Background fill pattern | Solid | |
| Foreground color | 36, 36, 36 | Unit | | |
| Border width | 1 | Line style | Solid | |
| Border color | 0, 0, 0 | | | |
| Characteristics | | | | |
| Hidden input | Unchecked | | | |
| Layout | | | | |
| X position | 464 | Y position | 185 | |
| Width | 67 | Height | 23 | |
| Left margin | 5 | Top margin | 2 | |
| Right margin | 2 | Bottom margin | 2 | |
| Fit object to contents | Unchecked | | | |
| Text format | | | | |
| Font | Tahoma, 15px, style=Bold | | Horizontal alignment | Centered |
| Vertical alignment | Middle | | Line break | Unchecked |
| Limits | | | | |
| Color for High limit violated | 255, 0, 31 | | Color for Low limit violated | 218, 255, 44 |
| Miscellaneous | | | | |
| Name | I/O field_1 | | Layer | 0 - Layer_0 |
| Tooltip | | | | |
| Security | | | | |
| Authorization | | | Allow operator control | Checked |
| Dynamizations\Tag connection | | | | |
| Property name | Process value | | Tag | P1 |
| Dynamizations\Appearance | | | | |
| Tag - Cycle | Низкое давление газа - | | Data type | Range |
| Range | 0..0 | | Foreground color | 36, 36, 36 |
| Background color | 218, 218, 218 | | Flashing | No |
| Range | 1..1 | | Foreground color | 36, 36, 36 |
| Background color | 255, 0, 31 | | Flashing | No |

Рисунок 32 – Свойства поля ввода-вывода I/O field_1

В графе General параметр Mode принимает значение Output. Это означает, что данное поле отвечает только за вывод данных. Параметр Display format показывает, что вывод данных осуществляется в виде десятичных чисел. Вид этих чисел представлен в параметре Format pattern. В данном случае он принимает значение 9.99, то есть отображаются одна цифра до запятой и две после запятой, причём в виде без знакового числа (отображение знака предполагает наличие символа s, например, s99.99).

В графе Dynamizations\Tag connection отображается связь поля с тэгом «P1», то есть с тэгом, отвечающим за давление природного газа после масштабирования.

В графе Dynamizations\Appearance показана анимация элемента, которая связана с тэгом «Низкое давление газа». Тем самым, пока давление соответствует нормальному, то заливка поля серого цвета. При понижении давления до критического уровня заливка становится красной. Такая же анимация применена для поля вывода давления воздуха.

Переключение режимов работы печи

В функционале WinCC есть специализированный инструмент, представляющий собой переключатель типа ON/OFF с фиксацией. Данный переключатель использован для выбора режима работы печи. Свойства переключателя представлены на рисунке 33.

В графе General можно видеть, что текст, отображаемый внутри кнопки можно изменять. В данном случае вместо текста ON дан текст РОЗЖИГ, и вместо OFF – РАБОТА. Стоит обратить внимание, что для данного переключателя для различных событий организованы различные функции (графы Dynamizations\Event).

Для события «Switch ON», что соответствует переключению на режим розжига, определены две функции. Это функции SetBit и ResetBit, присваивающие определённому тэгу 1 и 0 соответственно. В данном случае видно, что при включении режима розжига тэгу «B1» присваивается 1 (сеть Network 9, включение режима розжига), а тэгу «B2» – 0 (сеть Network 10, отключение режима работы).

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 64 |

Switch_1

| | | | |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------|
| Type | Switch | | |
| General | | | |
| Process value | | Value status ON | 1 |
| Mode | Switch with text | Label text | Switch |
| Text ON | РОЗЖИГ | Text OFF | РАБОТА |
| Graphic ON | | Graphic OFF | |
| Appearance | | | |
| Foreground color | 255, 255, 255 | Background color | 72, 72, 72 |
| Border width | 2 | Line style | 3D style |
| Design | | | |
| Focus color | 145, 182, 227 | | |
| Layout | | | |
| X position | 47 | Y position | 447 |
| Width | 86 | Height | 32 |
| Fit object to contents | Unchecked | | |
| Text format | | | |
| Font | Tahoma, 15px, style=Bold | Horizontal alignment of the text | Centered |
| Vertical alignment of the text | Middle | | |
| Limits | | | |
| Color for High limit violated | 255, 109, 118 | Color for Low limit violated | 255, 218, 44 |
| Miscellaneous | | | |
| Name | Switch_1 | Layer | 0 - Layer_0 |
| Tooltip | | | |
| Security | | | |
| Authorization | | Allow operator control | Checked |

Dynamizations\Event

| | |
|------------|-----------|
| Event name | Switch ON |
|------------|-----------|

Function list\SetBit

| | |
|-----|----|
| Tag | B1 |
|-----|----|

Function list\ResetBit

| | |
|-----|----|
| Tag | B2 |
|-----|----|

Dynamizations\Event

| | |
|------------|------------|
| Event name | Switch OFF |
|------------|------------|

Function list\ResetBit

| | |
|-----|----|
| Tag | B1 |
|-----|----|

Function list\SetBit

| | |
|-----|----|
| Tag | B2 |
|-----|----|

Function list\ResetBit

| | |
|-----|----|
| Tag | B3 |
|-----|----|

Рисунок 33 – Свойства переключателя Switch_1

Для события «Switch OFF», что соответствует переключению на режим работы определены сразу три функции. Это так же функции SetBit и ResetBit. В данном случае видно, что при включении режима работы тэгу «В1» присваивается 0 (сеть Network 9, отключение режима розжига), тэгу «В2» – 1 (сеть Network 10, включение режима работы), а тэгу «В3» – 0 (сеть Network 11, обнуление состояния взвода клапана).

Переключение режимов работы регуляторов

Таких переключателя три – по одному на каждый регулятор. Предназначены для выбора режима регуляторов – «РУЧНОЙ» или «АВТО». Переключатели связаны с тэгами «Регулятор давления», «Регулятор температуры» и «Регулятор соотношения». На рисунке 34 представлены свойства одного из таких переключателей на примере регулирования давления в топке печи.

Переключатели режима регуляторов оформлены в том же стиле, что и переключатель режима работы печи. Различие в действиях при тех или иных событиях.

Для события «Switch ON», что соответствует переключению на ручной режим, тэгу «Регулятор давления» присваивается 1.

Для события «Switch OFF», что соответствует переключению на автоматический режим, тэгу «Регулятор давления» присваивается 0.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 66 |

| Switch_3 | | | |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------|
| Type | Switch | | |
| General | | | |
| Process value | | Value status ON | 1 |
| Mode | Switch with text | Label text | Switch |
| Text ON | РУЧНОЙ | Text OFF | ABTO |
| Graphic ON | | Graphic OFF | |
| Appearance | | | |
| Foreground color | 255, 255, 255 | Background color | 72, 72, 72 |
| Border width | 2 | Line style | 3D style |
| Design | | | |
| Focus color | 145, 182, 227 | | |
| Layout | | | |
| X position | 494 | Y position | 614 |
| Width | 75 | Height | 25 |
| Fit object to contents | Unchecked | | |
| Text format | | | |
| Font | Tahoma, 15px, style=Bold | Horizontal alignment of the text | Centered |
| Vertical alignment of the text | Middle | | |
| Limits | | | |
| Color for High limit violated | 255, 109, 118 | Color for Low limit violated | 255, 218, 44 |
| Miscellaneous | | | |
| Name | Switch_3 | Layer | 0 - Layer_0 |
| Tooltip | | | |
| Security | | | |
| Authorization | | Allow operator control | Checked |
| Dynamizations\Event | | | |
| Event name | Switch ON | | |
| Function list\SetBit | | | |
| Tag | Регулятор давления | | |
| Dynamizations\Event | | | |
| Event name | Switch OFF | | |
| Function list\ResetBit | | | |
| Tag | Регулятор давления | | |

Рисунок 34 – Свойства переключателя Switch_3

Кнопка взвода клапана

Кроме переключателя с фиксированным положением существует простая кнопка. В данном проекте кнопка осуществляет простые действия. Свойства кнопки представлены на рисунке 35.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 67 |

| Button_2 | | | |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------|
| Type | Button | | |
| General | | | |
| Mode | Text | Text OFF | Взвод клапана |
| Text ON | Text | Text list | |
| Graphic OFF | | Graphic ON | |
| Graphic list | | Process value | |
| Bit number | 0 | | |
| Appearance | | | |
| Background color | 72, 72, 72 | Foreground color | 255, 255, 255 |
| Border width | 2 | Line style | 3D style |
| Design | | | |
| Focus color | 0, 182, 219 | | |
| Layout | | | |
| X position | 786 | Y position | 47 |
| Width | 130 | Height | 25 |
| Fit object to contents | Unchecked | | |
| Text format | | | |
| Font | Tahoma, 15px, style=Bold | Horizontal alignment of the text | Centered |
| Vertical alignment of the text | Middle | | |
| Miscellaneous | | | |
| Name | Button_2 | Layer | 0 - Layer_0 |
| Tooltip | | | |
| Security | | | |
| Authorization | | Allow operator control | Checked |
| Dynamizations\Event | | | |
| Event name | Release | | |
| Function list\ResetBit | | | |
| Tag | B3 | | |
| Dynamizations\Event | | | |
| Event name | Press | | |
| Function list\SetBit | | | |
| Tag | B3 | | |

Рисунок 35 – Свойства кнопки Button_2

Как и в переключателе, в графе General можно видеть, что текст, отображаемый внутри кнопки можно изменять. В данном случае вместо текста ON дан текст по умолчанию, и вместо OFF – Взвод клапана.

Для события «Press», что соответствует нажатию на кнопку и её удержанию, а в рамках проекта – взводу клапана, тэгу «B3» с помощью функции SetBit присваивается 1 (сеть Network 11, взвод клапана).

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Лист |
| | | | | | | | | | | 68 |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | | | | | |

270304.2018.390.00 ПЗ

Для события «Release», что соответствует отпусканию кнопки, тэгу «В3» присваивается 0. Однако это не означает отключению клапана. Событие «Release» в данном случае использовано для подачи кратковременного сигнала на тэг «В3».

Кнопки «Открыть» и «Закреть»

Данные кнопки позволяют вручную управлять исполнительными механизмами, но только в том случае, если регуляторы переключены в ручной режим. Свойства кнопок на примере кнопки «Открыть» регулятора давления представлены на рисунке 36.

В графе General кнопке в состоянии OFF присвоен текст «Открыть».

В графе Dynamizations\Event определены два события.

При событии «Press» тэгу «Руч. давл. Откр» присваивается 1 (сеть Network 5, сигнал «открыть» при ручном управлении).

При событии «Release», тэгу «Руч. давл. Откр» присваивается 0. То есть воздействие «открыть» прекращается.

В графе Dynamizations\Visibility определена анимация типа «Видимость». Она связана с тэгом «Регулятор давления». Таким образом в случае автоматического режима работы регулятора данная кнопка не отображается.

Анимация видимости присвоена всем кнопкам «Откр» и «Закр». При переключении режима регуляторов на автоматический помимо исчезновения кнопок с экрана оператора вместо них отображается текст «Недоступно», который представляет собой простое текстовое поле с такой же анимацией видимости, завязанной на тэги режимов работы регулятора.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 69 |

Button_4

| | | | |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------|
| Type | Button | | |
| General | | | |
| Mode | Text | Text OFF | Откр |
| Text ON | Text | Text list | |
| Graphic OFF | | Graphic ON | |
| Graphic list | | Process value | |
| Bit number | 0 | | |
| Appearance | | | |
| Background color | 72, 72, 72 | Foreground color | 255, 255, 255 |
| Border width | 2 | Line style | 3D style |
| Design | | | |
| Focus color | 0, 182, 219 | | |
| Layout | | | |
| X position | 528 | Y position | 717 |
| Width | 50 | Height | 40 |
| Fit object to contents | Unchecked | | |
| Text format | | | |
| Font | Tahoma, 15px, style=Bold | Horizontal alignment of the text | Centered |
| Vertical alignment of the text | Middle | | |
| Miscellaneous | | | |
| Name | Button_4 | Layer | 0 - Layer_0 |
| Tooltip | | | |
| Security | | | |
| Authorization | | Allow operator control | Checked |

Dynamizations\Event

| | |
|------------|---------|
| Event name | Release |
|------------|---------|

Function list\ResetBit

| | |
|-----|-----------------|
| Tag | Руч. давл. Откр |
|-----|-----------------|

Dynamizations\Event

| | |
|------------|-------|
| Event name | Press |
|------------|-------|

Function list\SetBit

| | |
|-----|-----------------|
| Tag | Руч. давл. Откр |
|-----|-----------------|

Dynamizations\Visibility

| | | | |
|-------------|----------------------|-----------|-------|
| Tag - Cycle | Регулятор давления - | Data type | Range |
| Start range | 0 | End range | 0 |
| Visibility | Invisible | | |

Рисунок 36 – Свойства кнопки Button_4

4) Демонстрация работы НМИ

Для демонстрации работы визуализации воспользуемся программой PLCSIM, в которой добавим необходимые окна для ввода значений некоторых параметров.

На рисунке 37 отображается нормальный режим работы, при котором в норме давление газа и воздуха, есть пламя горелок, отсечной клапан открыт, а регуляторы работают в автоматическом режиме.

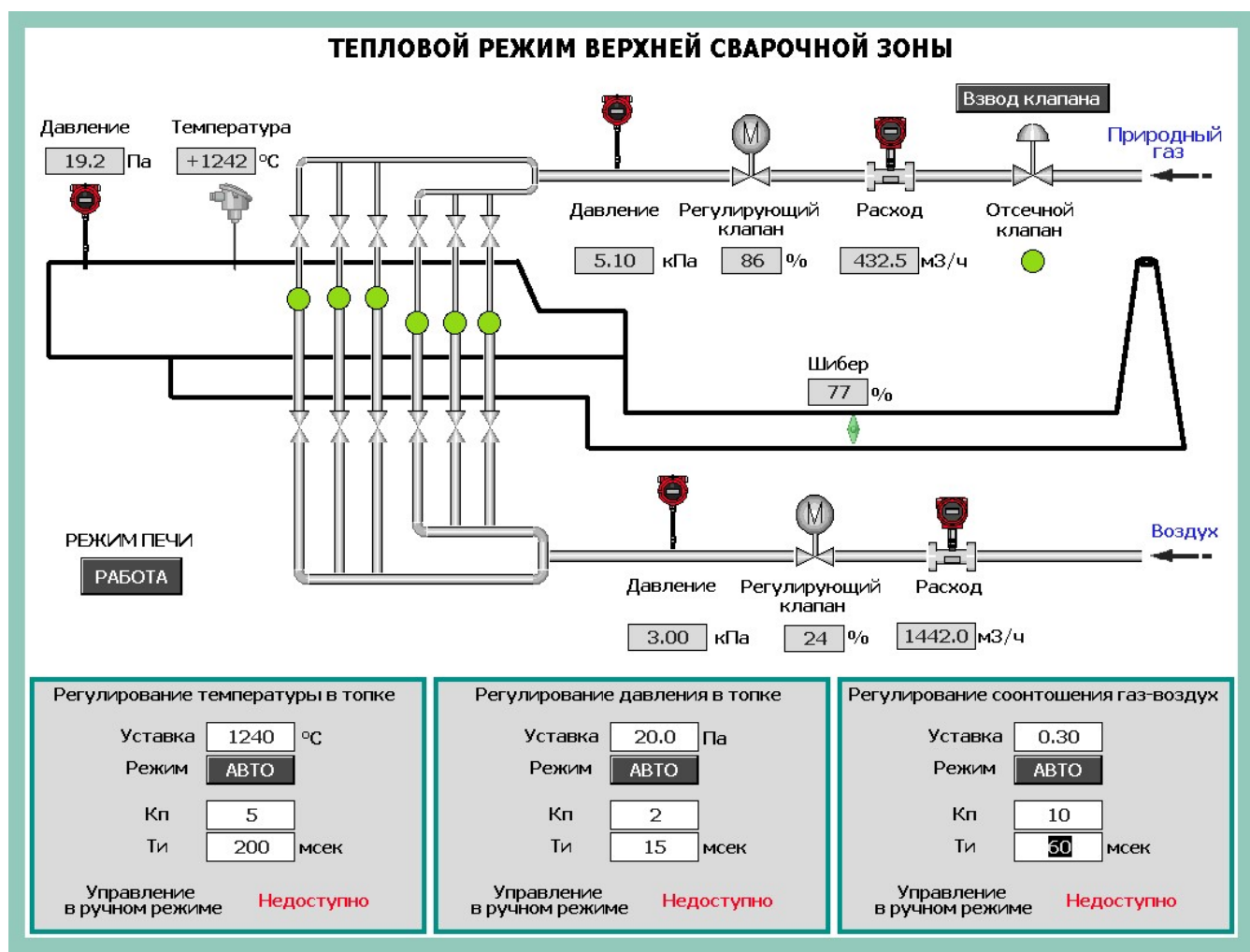


Рисунок 37 – Нормальный режим работы

На рисунке 38 отображается аварийный или предаварийный режим работы, при котором в давление газа и воздуха ниже критического уровня, пламени горелок нет, соответственно отсечной клапан закрыт, а регуляторы переведены в ручной режим.

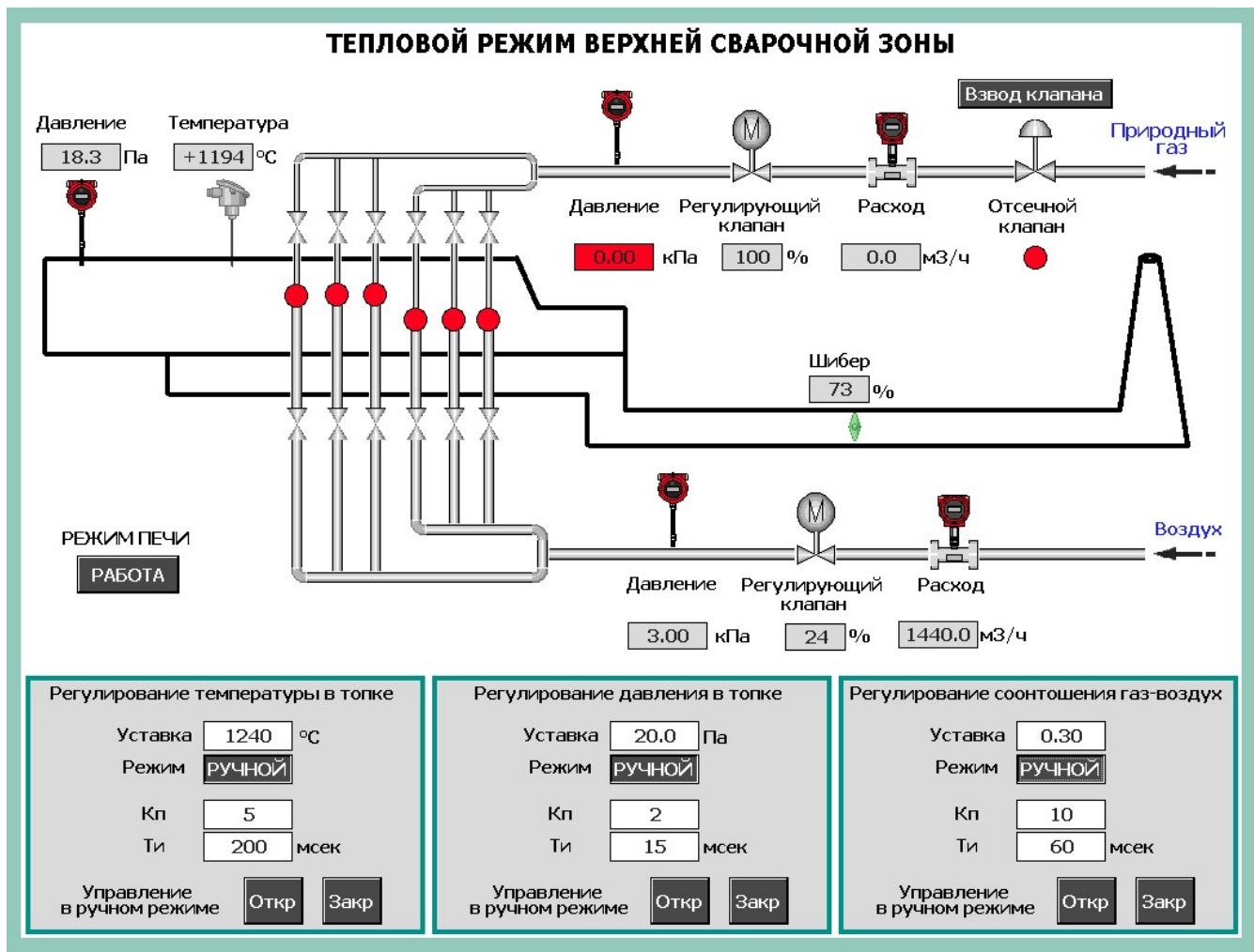


Рисунок 38 – Аварийный режим работы

Разработанная АСУ тепловым режимом в верхней сварочной зоне методической нагревательной печи Стана-240 планируется к внедрению на объект в 1 квартале 2019 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выпускной квалификационной работы получены следующие результаты.

С целью проведения исследования осуществлён обзор литературы, включающий в себя 10 источников. Проведённое исследование показало, существует большое количество источников по данной тематике, что свидетельствует об актуальности данной работы, так как существующий уровень автоматизации МНП не соответствует современным нормам.

Разработано методическое и алгоритмическое обеспечение АСУ МНП. Основными управляемыми параметрами являются:

- давление в рабочем пространстве верхней сварочной зоны;
- температура в рабочем пространстве верхней сварочной зоны;
- давление природного газа на верхнюю сварочную зону;
- давление воздуха на верхнюю сварочную зону;
- расход природного газа на верхнюю сварочную зону;
- расход воздуха на верхнюю сварочную зону;
- соотношение расходов «природный газ – воздух».

С целью поддержания их значений на заданном уровне разработаны функциональные схемы для управления параметрами.

Произведён выбор оборудования полевого и контроллерного уровня, на основании которого разработаны схема автоматизации и схема электрическая принципиальная.

Разработано прикладное программное обеспечение на основе STEP7 и пользовательское программное обеспечение на основе SCADA WinCC.

Таким образом, в данной выпускной квалификационной работе разработана АСУ тепловым режимом нагрева заготовок в верхней сварочной зоне методической нагревательной печи Стана-240 Прокатного цеха №1 на ПАО ЧМК на основе контроллера SIMATIC S7-400. Система планируется к внедрению на объекте в 1 квартале 2019 года.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 73 |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Алехин, А. Г. Оптимальное управление многозонной нагревательной печью / А. Г. Алехин, М. П. Кухтик // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. № 9 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»; вып. 4). – С. 54–56.

2 Хазанов, В.Г. Проблемы и пути развития интегрированных АСУ ТП / В.Г. Хасанов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2013. – №18 (44). – С. 89-92.

3 Сердобинцев, Ю.П. Выбор комплексного критерия оптимизации процесса нагрева в методической печи / Сердобинцев Ю.П., М.П. Кухтик, К.Ф. Куадио // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Вып. №9 (110). – С. 70-72.

4 Губинский, В.И. Metallургические печи / В.И. Губинский. – Днепропетровск: НМетАУ, 2006. – 83 с.

5 Автоматизация методических печей / Л. И. Буглак [и др.]. – М.: Metallургия, 1981. – 196 с.

6 Грязнов, И.Е. Опыт разработки распределённой АСУ ТП и её использование в учебном процессе / И.Е. Грязнов, С.А. Давыдов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2007. – Вып. №3 (29). – С. 32-35.

7 Салтыков, А.Ю. Модернизация автоматизированной системы управления методической печью / А.Ю. Салтыков, А.Е. Соловинюк, А.А. Силаев // Молодой ученый. – 2017. – №6. – С. 83-86. – URL <https://moluch.ru/archive/140/39537/> (дата обращения: 06.04.2018).

8 Полетыкин, А.Г. Основные решения по созданию системы верхнего (блочного) уровня АСУ ТП АЭС / А.Г. Полетыкин, М.Е. Бывайков, Н.Э. Менгазетдинов, А.А. Байбулатов // Труды института проблем управления РАН. Том XVIII. – 2002.

9 Гаенко, А.А. Сравнительный анализ SCADA-систем на основе различных критериев / А.А. Гаенко, А.А. Митин // Известия Орловского государственного

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|------------------------------|-------------|
| | | | | | <i>270304.2018.390.00 ПЗ</i> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> | | 74 |

технического университета. Серия: Информационные системы и технологии. – 2008. – №1-3. – С. 46-50.

10 Реймген, Ю.Э. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. SCADA система / Ю.Э. Реймген // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2014. – №23. – С. 114-132.

11 Пономарёв, О.П. Наладка и эксплуатация средств автоматизации. SCADA-системы. Промышленные шины и интерфейсы. Общие сведения о программируемых логических контроллерах и одноплатных компьютерах: учебное пособие / О.П. Пономарёв. – Калининград: Изд-во Ин-та «КВШУ», 2006. – 80 с.

12 Казаринов, Л.С. Автоматизированные информационно-управляющие системы: учебное пособие / Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер, Т.А. Барбасова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, издатель Т. Лурье, 2008. – 296 с.

13 Аязян, Г.К. Расчёт автоматических систем с типовыми законами регулирования: учебное пособие / Г.К. Аязян. – Уфа: УГНТУ, 1989. – 136 с.

14 Алтыева, М.Ч. Математическое моделирование процесса нагрева сляба как компонент управления технологическим процессом / М.Ч. Алтыева // Управление большими системами. УБС-2017 материалы XIV Всероссийской школы-конференции молодых ученых, – Пермь, 2017. – С. 512-520.

15 Кухтик, М.П. Расчет оптимальных параметров настройки пи-регулятора методической печи / М.П. Кухтик, А.М. Макаров, И.А. Харитонов, С.П. Генералов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2017. – Вып. №5 (200). – С. 70-72.

16 Кухтик, М.П. Оценка запаса устойчивости системы управления методической печью по частотному показателю колебательности / М.П. Кухтик, Ю.П. Сердобинцев, А.М. Макаров, М.А. Круглов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – Вып. №1 (156). – С. 61-63.

17 Петров, И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И. В. Петров; под ред. проф. В. П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс. – 2004. – 256 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 75 |

- 18 Деменков, Н.П. SCADA-системы как инструмент проектирования АСУ ТП. / Н.П. Деменков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2004. – 326 с.
- 19 Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в Matlab. Учебный курс / Ю. Лазарев. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.
- 20 Пьявченко, Т.А. Проектирование АСУТП в SCADA-системе. / Т.А. Пьявченко. – Таганрог: ТТИ ЮФУ. – 2007.
- 21 Самойлова Е.М. Информационная интеграция интеллектуального мониторинга технологических систем на уровне АСУТП / Е.М. Самойлова // ИТПОРТАЛ – 2017. – Вып. №2 (14). – С. 3-4.
- 22 Шакурова С.А. Надежность - как важнейшее качество при проектировании АСУТП / С.А. Шакурова, С.А. Мендыбаев // Наука и техника Казахстана. – 2015. – Вып. №1-2. – С. 130-134.
- 23 Мустаев Р.Р. Особенности выбора контроллеров для АСУТП / Р.Р. Мустаев // Инновационные технологии в промышленности: образование, наука и производство. – 2016. – С. 108-109.
- 24 Колесов И.А. Проблемы и задачи разработки программно-технических комплексов для АСУТП / И.А. Колесов // Энергия-2018. – 2018. – С. 5-6.
- 25 Потапова Т.Б. Интеграция АСУТП и АСУП / Т.Б. Потапова // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: информационные системы и технологии. – 2004. – №1(2) – С. 49-53.
- 26 Вологодин В.В. Роль панелей оператора в современных АСУТП / В.В. Вологодин, В.Г. Хазаров // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: информационные системы и технологии. – 2008. – №1-3 – С. 39-45.
- 27 Менделевич В.А. Унификация ПТК и её влияние на развитие ПТК и АСУТП / В.А. Менделевич, А.И. Корнеева // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2008. – №1 – С. 58-60.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 76 |

28 Мишта П.В. Моделирование. Новый метод проектирования АСУТП / П.В. Мишта, Е.В. Васильева // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2010. – №1(61) – С. 144-146.

29 Осипов И.С. Надежность и безопасность АСУТП / И.С. Осипов // Горные науки и технологии. – 2014. – №3 – С. 116-119.

30 Анашкин А.С. Программируемые логические контроллеры: классификация, языки программирования и средства коммуникации / А.С. Анашкин, Э.Д. Кадыров, А.Н. Кравченко // Цветные металлы. – 2003. – Вып. №7. – С. 122-126.

31 Анашкин А.С. Техническое и программное обеспечение распределённых систем управления / А.С. Анашкин, Э.Д. Кадыров, В.Г. Хазанов – С.Пб.: «П-2», 2004. – 368 с.

32 Глинков Г.М. АСУ ТП в чёрной металлургии / Г.М. Глинков, В.А. Макаровский – М.: Металлургия, 1999.

33 Родионов В.Д. Технические средства АСУ ТП: учебное пособие для вузов по специальности «Автоматизация и управление в технических системах» / В.Д. Родионов, В.Я. Терехов, В.Б. Яковлев – М.: Высшая школа, 1989. – 263 с.

34 Деменков Н.П. Программные средства оптимизации настройки систем управления: учебное пособие / Н.П. Деменков – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 244 с.

35 Деменков Н.П. SCADA-системы как инструмент проектирования АСУ ТП: учебное пособие / Н.П. Деменков – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.

36 Žaludová, A.H. A Survey of Some Recent Czechoslovak Work in Automatic Statistical Process Control / A. H. Žaludová, Z. Režný, M. Ullrich // Journal of Applied Probability. – 1968. – Vol. 5, No. 1 (Apr., 1968). – P. 43-54.

37 Bolton, William, Instrumentation and Control Systems (Second Edition); Chapter 7 PLC Systems / William Bolton. – Elsevier, 2004. – P. 151-174.

38 Nakayama, Yasuki, Introduction to Fluid Mechanics (Second Edition); Chapter 11: Measurement of Flow Velocity and Flow Rate / Yasuki Nakayama. – Gardners Books, 2018 – P. 215-232.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 77 |

39 Chen, Wanli, Dynamic Furnace Temperature Setting Research on Combustion System of Rolling Mill Reheating Furnace / Chen Wanli, Kong Ning, Wu Daohong // Energy Procedia. – 2015. – Volume 66. – P. 217-220.

40 Wen, Zhi, The summary of computer control technology on continuous reheating furnace for rolling mill / Wen Zhi // Metal world. – 2004(1). – 45 p.

41 Bailey, D., Practical SCADA for industry / Bailey D., Wright E. – Oxford (GB): Elsevier. – 2003. – 304 p.

42 Giani, A. A testbed for secure and robust SCADA systems / A. Giani, G. Karsai, T. Roosta, A. Shah, B. Sinopoli, J. Wiley // ACM SIGBED Review. – 2008. – Vol. 5. – P. 1-4.

43 ГОСТ 21.208-2013 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Стандартинформ, 2015.

44 ГОСТ Р 21.1101-2013 Система проектной документации для строительства (СПДС). Основные требования к проектной и рабочей документации (с Поправкой) – М.: Стандартинформ, 2014.

45 ГОСТ 19.701-90 (ИСО 5807-85) ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. – М.: Стандартинформ, 2010.

46 ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016. Контроллеры программируемые. Часть 3. Языки программирования. – М.: Стандартинформ, 2016.

47 Продукты SIMATIC для комплексной автоматизации: каталог продукции / Москва: ООО Сименс, Департамент «Цифровое производство», 2017. – 224 с.

48 ГП «Теплоприбор». Каталог продукции 2017. Часть 1. Датчики / Челябинск: 2017. – 132 с.

49 Ганс Бергер, Автоматизация с помощью программ STEP7 LAD и FBD – http://samsebeplc.ru/Doc/Siemens/STEP7/Berger_STEP7_LADFBD_r.pdf.

50 SCADA WinCC – https://support.industry.siemens.com/dl/files/807/19551807/att_76063/v1/System_Description_ru.pdf.

51 SCADA Genesis64 – <https://iconics.com/Site/Products/Viewer/Genesis64.aspx>.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 78 |

- 52 SCADA InTouch – <https://www.wonderware.ru/hmi-scada/intouch/>.
- 53 SCADA TRACE MODE 6 – <http://www.adastra.ru/products/dev/scada>.
- 54 SCADA MasterSCADA – <http://www.masterscada.ru>.
- 55 SCADA Круг-2000 – <http://www.krug2000.ru>.
- 56 SIMATIC S7-400 advanced controller. Catalog ST 400. Edition May 2017 – https://www.automation.siemens.com/w2/efiles/pcs7/pdf/76/ST400_2017_en_Web.pdf.
- 57 Погружные расходомеры Turbo-Bar TMP – <http://www.vorflow.ru/data/products/2/Turbo-Bar.pdf>.
- 58 Техническое описание Cerabar S PMC71, PMP71, PMP75. Измерение избыточного/абсолютного давления – https://portal.endress.com/wa001/dla/5000300/7712/000/01/TI00383PRU_1914.pdf.
- 59 Фотосигнализатор пламени ФСП 1 – http://www.k-avtomatika.ru/images/2_Описание.pdf.
- 60 Интерфейсные технологии и коммутационные устройства. Каталог Phoenix Contact – https://www.phoenixcontact.com/assets/interactive_ed/global/modules/0001710/index.html.

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 79 |

ПРИЛОЖЕНИЕ А

1. 270304.2018.390.01.01 С1, «Система управления методической печью на основе контроллера Simatic S7-400. Схема структурная АСР».
2. 270304.2018.390.02.01, «Система управления методической печью на основе контроллера Simatic S7-400. Блок-схемы алгоритмов».
3. 270304.2018.390.03.01 С3, «Система управления методической печью на основе контроллера Simatic S7-400. Схема автоматизации».
4. 270304.2018.390.04.01 Э3, «Система управления методической печью на основе контроллера Simatic S7-400. Схема электрическая принципиальная».

| | | | | | | |
|------|------|----------|---------|------|-----------------------|------|
| | | | | | 270304.2018.390.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | | 80 |