

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

Факультет Электротехнический

Кафедра автоматики

Направление подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

Голощапов С. С.

2021 г.

Программное обеспечение системы управления паровой термообработки
железобетонных изделий

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ– 27.03.04.2021.053.00.00ПЗ ВКР

Автор ВКР

студент группы МиЭт-529

/Колмурзин Р.У.

подпись

ФИО

2021 г.

Руководитель работы

д.т.н., профессор

должность

/Белугин В.Б.

подпись

ФИО

2021 г.

Консультант

зам. начальника лаборатории КИПиА ООО «Завод
КПД»

должность

/Ковин А.В.

подпись

ФИО

2021 г.

Нормоконтроль

старший преподаватель

должность

/Елисеев В.П.

подпись ФИО

2021 г.

АННОТАЦИЯ

Колмурзин Р.У. Выпускная квалификационная работа. Программное обеспечение системы управления паровой термообработки железобетонных изделий. – Миасс: ЮУрГУ - 2021. - 73 с, 16 илл., 7 табл., библиогр. список - 23 наим.

В ходе написания работы разработано программное обеспечение системы управления паровой термообработки железобетонных изделий, программный код для системы управления реализован на языке С с использованием интегрированной среды разработки MPLABIDEХv.4.00.

Программное обеспечение реализует следующие функции:

- измерение температуры и относительной влажности в камере, передачу измеренных параметров и состояние управляющих элементов по интерфейсу RS485 в управляющую ПЭВМ;
- контроль времени технологического процесса;
- регулирование температуры теплоносителя по заданным параметрам — подача пара в установку путем открытия/закрытия задвижки на паропроводе;
- останов процесса: по штатному завершению программы; автоматически по аварии; с кнопки на блоке управления.

В данной квалификационной работе приведены структурная схема системы управления паровой термообработки, разработана электрическая принципиальная с описанием выбора электронных компонентов, разработан и описан алгоритм работы системы управления.

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ ВКР			
Из	Лист	№ докум	Подпи	Дата	Программное обеспечение	Лит	Лист	Листов
Разраб	Колмурзин					К	3	73
Провер	Ковин				системы управления	ЮУрГУ		
И	Елисеев					Кафедра		
Утверд	Голошап							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ОБЗОР СИСТЕМ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ	9
1.1 Ямные камеры	10
1.2 Щелевые камеры	11
1.3 Кассетные установки.....	11
1.4 Автоклавы	12
2.1 Паровые терморегуляторы.....	13
2.2 Газовые терморегуляторы.....	14
2.3 Газопаровые терморегуляторы	16
2.4 Электрические терморегуляторы	16
3 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ	17
4 ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ.....	22
4.1 Описание процесса	22
4.2 Выбор микроконтроллера	23
4.1.1 Микроконтроллер K1986BE92QI (MDR32F9Q2I).....	24
4.1.2 Микроконтроллер ATmega328	25
4.1.3 Микроконтроллер STM32	26
4.1.4 Микроконтроллер PIC16F1936	28
4.3 Символьный ЖК-дисплей WH1602A-YGH-CT	30
4.4 Датчик температуры и влажности	31
2.1 Выбор клавиатуры	33
3.5 Выбор стабилизатора напряжения	34
3.5.1 Интегральный стабилизатор MC7805ACTG	37
3.5.2 Интегральный стабилизатор LM7805CT.....	37
3.6 Выбор трансформатора	Error! Bookmark not defined.
3.9 Выбор разъемов	38

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		4

5 ПРОТОКОЛ Modbus	39
2.1.1 Типы данных и структура обмена данными.....	40
2.1.3 Достоинства и недостатки стандарта	50
6 СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ	52
7 АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОПИСАНИЕ ПО	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	58
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	59
ПРИЛОЖЕНИЕ А	61

ВВЕДЕНИЕ

Технико-экономическими предпосылками создания систем автоматического управления (САУ) являются, прежде всего, рост масштабов производства, увеличение единичной мощности оборудования, усложнение производственных процессов, использование форсированных режимов (повышенные давления, температуры, скорости реакций), появление установок и целых производств, функционирующих в критических режимах, усиление и усложнение связей между отдельными звеньями технологического процесса. В последнее время в развитии многих отраслей промышленности появились новые факторы, связанные не только с повышением требований к количеству и качеству выпускаемой продукции, но и с напряженностью в области трудовых ресурсов. Рост производительности труда, в том числе путем его автоматизации, становится практически единственным источником расширения производства. Указанные обстоятельства предъявляют новые требования к масштабам использования и к техническому уровню САУ, к обеспечению их надежности, точности, быстродействия, экономичности, т.е. к эффективности их функционирования. Еще одной важной предпосылкой применения САУ в промышленности является необходимость реализации значительных потенциальных производственных резервов.

Техническая база производства в большинстве отраслей промышленности достигла к настоящему времени такого уровня развития, при котором эффективность производственного процесса самым непосредственным и существенным образом зависит от качества управления технологией и организации производства. Поэтому на первый план выдвигается задача оптимального управления технологическими процессами, решить которую без развитой САУ в большинстве случаев невозможно.

На предприятиях, где одним из основных технологических процессов является термообработка изделий, используются следующие системы:

- терморегулятор газовый,
- терморегулятор паровой,
- терморегулятор электрический.

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изд.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		6

Также немаловажно бывает поддержание влажности теплоносителя.

Одним из основных элементов оптимального управления технологическими процессами, а именно автоматическое управление исполнительными механизмами, является - регулятор. Существует множество способов реализации регуляторов - от реализации алгоритма своими средствами до готовых аппаратно-программных решений.

В схеме с готовым, настраиваемым регулятором вся логика управления и регулирования уже реализована и установлена в устройстве ее производителем; требуется только настройка датчиков, подключенных к входным и выходным контактам устройства, задание параметров регулятора.

Наличие готовых аппаратно-программных решений упрощает внедрение данного типа регуляторов по ряду факторов:

- простота технического сопровождения,
- не требуются услуги программиста или специалиста для реализации алгоритма,
- настройка и дальнейшее техническое сопровождение может проводиться обычным инженерно-техническим персоналом.

Но имеет и свои недостатки:

- готовый, настраиваемый регулятор с ограниченным числом входов и выходов;
- при необходимости расширения функций, модернизации системы необходимо полностью менять аппаратно-программный регулятор.

Если аппаратно-программная схема терморегулятора строится на настраиваемых устройствах, типа программируемый логический контроллер с модулями ввода/вывода, то имеются следующие достоинства:

- возможность реализации любой логики управления и регулирования;
- возможность связи с системами верхнего уровня управления (SCADA-системы, системы архивирования и т. п.);
- возможность реализации графического интерфейса (HMI — человеко-машинный интерфейс);

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпи	Дата		7

- простота схемы;
- долгий срок работы при правильной эксплуатации.

Недостатки схемы с программируемым логическим контроллером:

- требуются навыки программирования (знания языков программирования) для реализации логики.

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпи	Дата		8

1 ОБЗОР СИСТЕМ ТЕРМООБРАБОТКИ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Термообработка бетона в основном проводится при обычном атмосферном давлении:

- в туннельных камерах;
- на стендах;
- щелевых и ямных камерах;
- в горизонтальных термоформах и формовочных установках.

Установки термообработки бетона бывают периодического действия, а также применяются установки непрерывного действия.

Периодические (отсюда и название), т. е.:

- сформированные изделия помещаются в установку (в кассетную машину устанавливается арматурная сетка и заливается бетон; такая установка как правило состоит из нескольких кассет);

- запускается цикл термообработки;
- готовые изделия изымаются из установки;
- через какой-то период времени все повторяется (с новыми изделиями).

«К установкам периодического действия относятся:

- камеры ямного типа (ямные камеры);
- туннельные камеры;
- формовочные кассетные машины;
- стендовые установки;
- автоклавы.»[4]

Установки непрерывного действия функционируют постоянно (останавливаются для ремонтных работ или при остановке производства на длительный срок). Изделия в такие установки помещаются и изымаются по мере готовности специальными устройствами (снижателями-проталкивателями, укладчиками-пакетировщиками). Такие установки как правило входят в состав производственной линии (конвейер).

К установкам непрерывного действия относятся:

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изд.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		9

- туннельные камеры;
- щелевые камеры;
- вертикальные камеры и термоформы, укладываемые в штабель пакетировщиком.

В установках используются следующие терморегуляторы:

- паровые;
- газовые;
- комбинированные — газопаровые;
- электрические.

Ряд бетонных изделий (сваи, шпалы и др.) проходят термообработку в масляной пропитке: «после 6 –8 часовой выдержки изделия загружают в ванны с разогретым до 70 °С петролатумом, в течение последующих 2 ч повышают температуру до 100 °С, выдерживают изделие в течение 2 ч и затем охлаждают до 60 °С. При такой обработке бетон приобретает в течение суток марочную прочность, а глубина пропитки петролатумом достигает 5 мм, такие изделия приобретают гидрофобные свойства.»[4]

1.1 ЯМНЫЕ КАМЕРЫ

Ямные камеры являются установками периодического действия, «основными элементами которой являются железобетонные стены, бетонный пол с трапом для стока конденсата и съемная крышка. Внутри камеры сверху и снизу располагаются перфорированные трубы с соплами, через которые подается теплоноситель.

Цикл обработки конструкций длится 9—14 ч, удельный расход пара составляет 200—400 кг на 1 м³ плотного бетона» (при паровой термообработке). Изделия укладываются в камеру так, чтобы расстояние от пола до нижней плоскости форм было не менее 150 мм.

«К недостаткам тепловой обработки следует отнести сложность механизации и автоматизации, большой расход тепла, а также то, что тепловая емкость ограждающих конструкций ямных камер в 3—5 раз превышает тепловую емкость пропариваемых изделий.»[4]

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изд.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		10

1.2 ЩЕЛЕВЫЕ КАМЕРЫ

«Щелевые камеры являются установками непрерывного действия и применяются в вертикально-наклонно-горизонтально замкнутом тележечном конвейере.

Обогрев осуществляют регистрами, острым паром или электронагревателями.

График тепловой обработки близок к графику для ямных камер. Продолжительность тепловой обработки — 9—12 ч с удельным расходом пара 200—250 кг на 1 м³ плотного бетона (при паровой термообработке).

В туннельных камерах обрабатывают один поезд вагонеток с изделиями.

Туннельная камера состоит из туннеля, закрытого с торцов, в котором циклично поднимаются и опускаются тележки с формами, а затем они выдаются из камеры. Камера по всей длине имеет свои теплые зоны, изотермический прогрев осуществляется при 50—75 С, а общий цикл термообработки составляет 14—15 ч.

1.3 КАССЕТНЫЕ УСТАНОВКИ

Кассетные машины являются установками периодического действия. Изделия в таких установках обрабатывают с помощью пара, подаваемого в паровые отсеки. В кассетах имеется паровой отсек, который обогревает изделие с двух сторон или пакет из двух изделий.

Равномерность тепловой обработки в кассетах позволяет достичь прочности через 3—4 ч и тем самым увеличить оборачиваемость до 6 раз в сутки.

В связи с незначительной площадью открытой поверхности бетона в кассетах допускается высокая скорость повышения температуры (в тепловом отсеке до 60—70 °С в 1 ч).

Режим тепловой обработки при температуре 85—95 °С следующий:

- повышение температуры в пределах 1 часа;
- изотермический прогрев от 4 до 6 часов;
- выдержка после подачи пара от 2 до 8 часов.»

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изд.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		11

«Гидробаротермальная обработка бетона позволяет исключить предварительное выдерживание изделий. Сущность этого способа заключается в том, что в камеру совместно с свежесформованными изделиями подают воду с температурой 18—20 °С, затем камеру герметизируют, а воду начинают подогревать. В камере создается давление среды, тепловое гидравлическое обжатие ограничивает расширение воздуха в порах и увеличивает прочность кристаллических сростков новообразований. Цикл обработки изделий длится 6—8 ч при температуре 85—90 °С.»[4]

1.4 АВТОКЛАВЫ

Данные тип установок относят к периодическим типам.

В автоклавах обрабатывают плотные силикатные бетоны при температуре 175—195 °С и давлении 0,8—1,6 МПа.

Преимущества автоклавной обработки:

- повышается прочность, но снижается усадка;
- в отдельных случаях повышается стойкость бетонов против коррозии, в частности сульфатной.

Величина давления насыщенного пара сильно влияет на физико-химические процессы формирования структуры бетона при его твердении.

Автоклав представляет собой цилиндрический сосуд диаметром 3,6 м, длиной 27 м, по торцам которого имеются плотные герметичные двери, узкоколейные пути для передвижения вагонеток. Общая продолжительность процесса термообработки от 6 до 10 ч.

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изд.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		12

2 ОБЗОР ТЕРМОРЕГУЛЯТОРОВ

2.1 Паровые терморегуляторы

Поддержание температуры производится дозированной подачей теплоносителя. Схематично изобразить процесс пропарки железобетонных изделий с помощью воздухонагревателей можно следующим образом (рис.1).

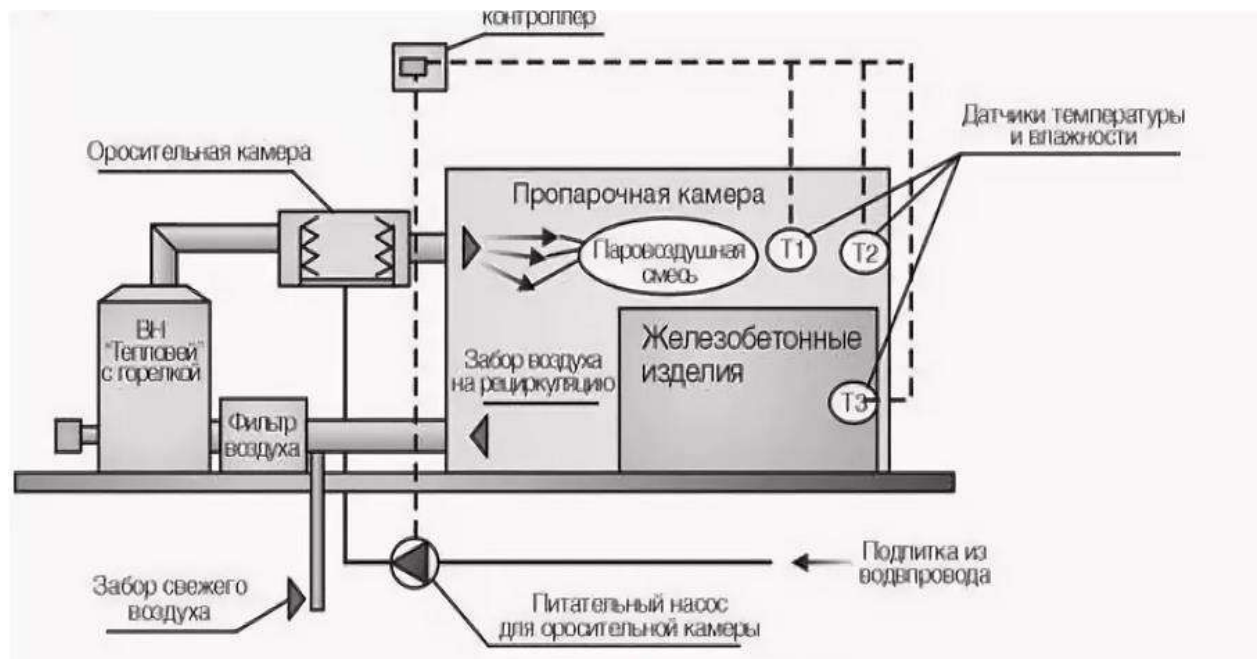


Рисунок 1 - Схема паропровода системы

Пар подается в паропровод из котельной под определенным давлением.

Дозирование производится заслонкой. Для автоматизации данного процесса заслонку подключают к шаговому двигателю, которым можно управлять (открывать или закрывать заслонку), а сам шаговый двигатель подключают к какой-то системе управления (регулятору).

Обратная связь (для контроля и принятия решения) по датчикам (зависит от схемы):

- температура теплоносителя;
- давление пара;
- положение задвижки.

Достоинства схемы:

- простота реализации;
- нет проблем с увлажнением.

Недостатки схемы:

- требуется наличие парогенератора (котельная);
- ограничения по температуре теплоносителя.

2.2 Газовые терморегуляторы

Поддержание температуры производится нагревом теплоносителя — воздуха (рисунок 2).

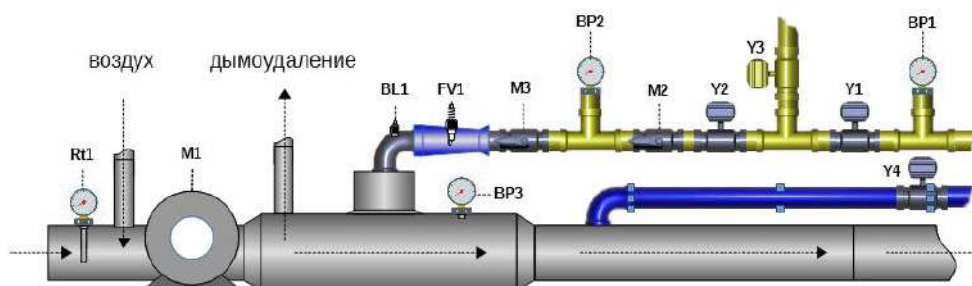


Рисунок 2 – Схема системы с нагревом теплоносителя

Rt1 – температура
теплоносителя;

M2 – газовая заслонка;

BL1 – датчик наличия пламени;

BP1 – давление газа, перед
основным запорным
устройством;

BP3 – разрежение запорного
клапана;

Y2 – вторичный запорный
клапан;

Y4 – клапан увлажнения (подача воды)

M1 – рециркуляционный
двигатель;

M3 – воздушная заслонка;

FV1 – свеча зажигания;

BP2 – давление газа, перед
горелкой;

Y1 – запорный клапан;

Y3 – клапан безопасности
(вывод в атмосферу);

Воздух циркулирует по «замкнутой» системе (часть отводится через систему дымоудаления, часть подается заново по воздуховоду, например, из компрессорной).

Поддержание температуры воздуха производится газовой горелкой. Для нагрева - горелка включается (розжиг) и происходит регулирование температуры открытием или закрытием газовой заслонки. Для охлаждения — отключение горелки. И так до тех пор, пока не завершится технологический процесс.

Данные терморегуляторы используются в основном для сухой термообработки. Реализация системы увлажнения в таких установках усложняется рядом факторов:

- требуется дополнительный водопровод с системой дозированной подачи воды (частая проблема такой системы – загрязнение форсунок);
- газовая горелка не работает при определенной влажности воздуха.

Обратная связь (для контроля и принятия решения) по датчикам (зависит от схемы):

- температура теплоносителя;
- температура сухого и влажного датчиков (для системы увлажнения);
- давление газа (подаваемое и перед горелкой);
- наличие пламени;
- работа рециркуляционного вентилятора;
- положение задвижек (воздушной, газовой).

Достоинства схемы:

- высокие температуры теплоносителя;
- доступность исходных компонентов (газ и воздух).

Недостатки схемы:

- сложность реализации;
- имеются проблемы с увлажнением.

2.3 Газопаровые терморегуляторы

Комбинированная схема, включающая в себя паровую и газовую.

Особенности работы, достоинства и недостатки наследуются от исходных схем; часть недостатков сглаживается переключением работы установки с одной схемы на другую.

Дополнительные недостатки схемы:

- более сложная схема (требуются механизмы для перекрытия трубопровода теплоносителя газовой схемы при переходе на паровую);
- более сложная логика управления.

2.4 Электрические терморегуляторы

Поддержание температуры производится электронагревателями (тэнами) — путем их включения или выключения.

Достоинства данной схемы:

- простота реализации, логики управления и технического сопровождения;
- температура теплоносителя ограничивается мощностью нагревательного элемента.

Недостатки данной схемы:

- чем мощнее нагревательный элемент, тем больше расход электроэнергии;
- невысокая точность регулирования.

3 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

В существующей системе управления паровой термообработки железобетонных изделий поддержание температуры производится дозированной подачей теплоносителя с механическим открыванием заслонки для подачи пара (рисунок 2).



Рисунок 3.1 - Схема паропровода системы:

Y1 – клапан запорно-регулирующий; Rt1 – температура теплоносителя

Пар подается в паропровод из котельной под определенным давлением.

Дозирование производится заслонкой в ручном режиме. Необходим постоянный контроль оператором текущего состояния температуры, давления, времени выполнения технологического процесса.

Для автоматизации данного процесса необходима установка клапана запорно-регулирующего (КЗР) с электронным регулятором положения заслонки и встроенного электропривода под управлением микроконтроллера.

Клапан запорно-регулирующий (КЗР) 25ч945п односедельный, фланцевый, с электрическим исполнительным механизмом (ЭИМ) представлен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Клапан запорно-регулирующий 25ч945п

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изд.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		17

Клапаны запорно-регулирующие 25чХХХ предназначены для применения в местных и центральных тепловых пунктах (МТП, ЦТП) в системах горячего и холодного водоснабжения и теплоснабжения, а также в различном технологическом оборудовании.

«Рабочая среда–жидкость нейтральная к материалам деталей, соприкасающихся с рабочей средой температурой до 150 °С.

Клапаны изготавливают в исполнении УХЛ категории 4 по ГОСТ 15150 предназначены для работы при температурах окружающего воздуха от +1 °С до +40°С относительной влажностью воздуха до 80% при 25 °С и атмосферном давлении от 84 до 106,6 МПа (630-800 мм.рт.ст.)

Основные технические характеристики клапанов и схемы подключений исполнительных механизмов приведены в паспорте.»

Установка на трубопровод –вертикально по оси штока затвора – рекомендуемая, горизонтально по оси штока затвора –допустимая. Допускаются отклонения от рекомендуемых и допускаемых положений $\pm 10^\circ$ в ту или другую сторону.

Основные технические характеристики клапана приведены в паспорте на клапан. Клапан состоит из корпуса (7), выполненного в виде чугунной отливки, в который впрессовано седло (5). Затвор установлен в затворном узле (2), который одновременно является направляющей. Механизм исполнительный (1) устанавливается на направляющей затворного узла (2) и крепится гайкой(4) с фиксирующим винтом (13). Выходной орган механизма соединяется со штоком затвора клапана с помощью замка(1.1), выполненного в виде сухарей, и фиксируемого гайкой (1.2). Гайка стопорится от проворачивания стопорным винтом (1.3) Уплотнение штока затвора представляет собой фторопластовую втулку (2.2) с манжетой(2.3), которые поджимаются гайкой (2.1). Подробное описание установки настройки хода механизма изложено в эксплуатационной документации на механизм. Для исполнения клапана в условиях эксплуатации на паропроводах с температурой до 200°С уплотнение штока имеет иную

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изд.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		18

конструкцию и состоит из набора фторопластовых манжет с распорными кольцами (рисунок 3.3).

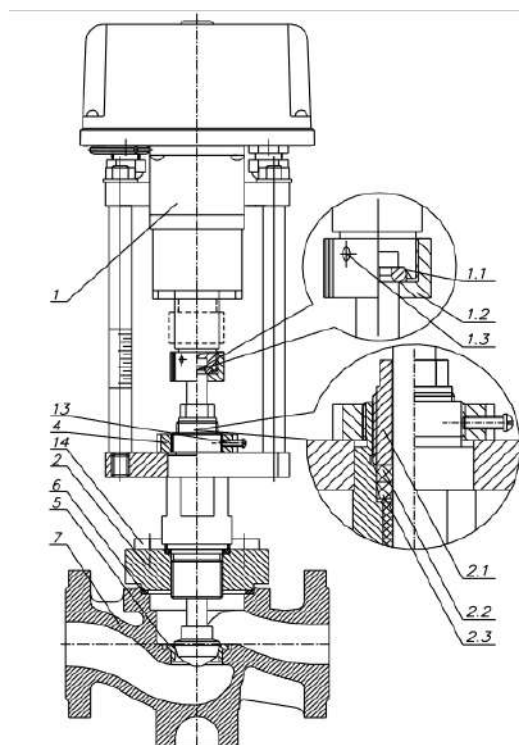


Рисунок 3.3

(1 –исполнительный механизм1.1 –замок исполнительного механизма1.2 – гайка замка1.3 –стопорный винт2 –затворный узел с фланцем2.1 –гайка поджимная уплотнения штока затворного узла2.2 –втулка уплотнения2.3 –манжета уплотнения4–гайка фиксации исполнительного механизма5 –седлоб –прокладка 7 –корпус13–винт стопорения фиксирующей гайки14 –болт крепления затворного узла)

«Прямоходные электроприводы ST (электрические исполнительные механизмы, ЭИМ) предназначены для дистанционного управления различными видами запорно-регулирующей арматуры. В зависимости от мощности, электроприводы ST подразделяются на модели : ST mini, ST 0, ST 0.1, ST 1, ST 2, ST 1-Ex.

По степени защиты изготавливаются в обычном (общепромышленном) или взрывозащищенном (Ex) исполнении.»

Стандартное исполнение электроприводов подразумевает:

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		19

- умеренное климатическое исполнение;
- тип электрического присоединения - на клеммную колодку;
- тип механического присоединения - фланец, присоединительная муфта – резьбовая;
- датчик степени открытия – резисторный простой (1×100 Ом), токовый (4-20мА) без источника питания;
- наличие указателя положения;
- наличие ручного дублера.

Таблица 3.1 – Технические характеристики электропривода ST 0.1

Рабочий ход, мм	20	32	40
Скорость управления, мм/мин	32		
Время закрытия, с	40	60	75
Усилие на штоке, кН	5,8	7,2	
Режим работы	повторно-кратковременный		
Напряжение питания (управляющее)	230В, 50Гц		
Мощность потребляемая, Вт	15		
Масса, кг	7,8		
Окружающая температура, °С	от минус 25 до 55		
Относительная влажность, %	от 5 до 100		
Степень защиты	IP65		

По спецзаказу – резисторный датчик двойной; токовый датчик с источником питания;

напряжение питания 24В AC, 24В DC, 3×380В; электронный регулятор положения (N); степень защиты IP67.

Обратная связь по датчикам:

- температура теплоносителя;
- давление пара.

Требования к системе управления:

1. Система работает от сети ~220 В (50 Гц), производит следующие измерения:

- необходимо измерение температуры и влажности внутри камеры;

- необходимо управление подачи теплоносителя (пара).

2. Регулирование температуры теплоносителя по заданным параметрам — подача пара в установку путем открытия/закрытия задвижки на паропроводе.

3. Задание параметров технологического процесса (допустимые значения приведены в таблице 1:

- диапазон температуры (°C);

- длительность процесса (минуты).

4. Настройку и калибровку контрольно-измерительных датчиков и исполнительных механизмов, настройку параметров регулятора.

5. Запуск процесса:

- локально (на месте установки шкафа управления) по кнопке.

6. Останов процесса:

- локально (на месте установки шкафа управления) по кнопке;

- автоматически по штатному завершению программы технолога;

- автоматически по аварии (при неисправности исполнительных устройств или выходе за допустимые границы технологического процесса).

7 Локальное (на месте установки шкафа управления) визуальное отображение состояния процесса.

Таблица 1 — Допустимые значения технологического процесса

Параметр	Допустимые значения	
	Минимум	Максимум
Температура, С°	30	100
Длительность, минуты	15	1440

4 ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА. ВЫБОР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

4.1 Описание процесса

Система состоит из операторского места, включающего промышленный компьютер с двумя n-портовыми платами интерфейса RS-485 и 20-ти дюймовый LCD монитор, к которому по сети ModBUS RTU подключен контроллер, управляющий, в свою очередь, сигналами с датчиков и кнопок и исполнительными механизмами.

Погрузка изделий в установку совершается сверху, стопкой друг на друга с зазорами между ними. Плотно закрывающейся герметичной крышкой.

После включения из котельной по паропроводу подается пар, доходит до точки 1 (КЗР). Далее терморегулятор подает сигнал на КЗР, тот в свою очередь открывает клапан. Пар поступает в систему паропровода, постепенно распространяясь по всему периметру конструкции. Поднимается по трубе с перфорацией, равномерно прогревая все изделия.

В схеме с программируемым логическим контроллером вся логика управления и регулирования реализуется программными средствами (в среде разработки и программирования) и исполняется в логическом контроллере. Модули ввода опрашивают датчики (температура теплоносителя, давление пара, положение задвижки и т. п.). Модули вывода управляют исполнительными механизмами (напрямую или через промежуточные реле).

После включения устройства в сеть, микроконтроллер проводит инициализацию компонентов, и с помощью клавиатуры необходимо задать требуемые для следующего технологического процесса температуру и время. Заданная температура и отсчет времени будет отображаться на дисплее.

После запуска, блок управления подает сигнал на клапан запорно-регулирующий с электронным регулятором электропривода и положения заслонки. Заслонка КЗР открывается, пар подается под определенным давлением до тех пор, пока по опросу датчиков не достигается верхний заданный порог температуры.

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		22

При достижении верхнего установленного значения, заслонка закрывается, подача пара прекращается.

Если в процессе обработки железобетонных изделий температура в камере снижается до нижнего установленного порога, то по опросу датчиков происходит возобновление подачи пара.

После завершения технологического процесса по истечении заданного времени, произойдет автоматическое отключение. Также отключение возможно непосредственно с кнопки «Стоп».

4.2 Выбор микроконтроллера

На современном рынке существует огромное количество производителей микроконтроллеров, основными из которых являются такие фирмы, как Intel, MicroCHIP, STMicroelectronics.

Несмотря на то, что производством контроллеров занимаются разные фирмы, большинство контроллеров, из похожих семейств, не имеют существенных различий.

Для любого производителя важно, чтобы их контроллеры отвечали основным требованиям:

- производительность;
- простота и удобство освоения;
- удобство в программировании;
- цена и наличие на рынке.

4.2.1 Микроконтроллер K1986BE92QI (MDR32F9Q2I)

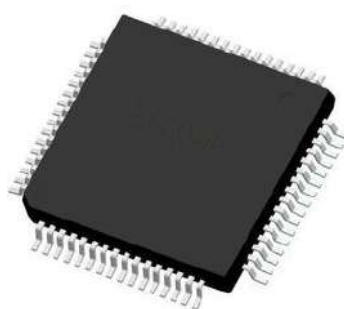


Рисунок 4.1 – Микроконтроллер K1986BE92QI

Маркировка: K1986BE92QI

Аналог: STM32F103x

Корпус: LQFP-64

Архитектура ядра: ARM Cortex-M3

FLASH программ: 128 Кб

SRAM: 32 Кб

Питание: 3.3 В

Частота: 80 МГц

Температура: -40...+85 °С

Количество линий I/O: 43

USB: Device и Host FS (до 12 Мбит/с)

UART: 2

CAN: 2

SPI: 2

I2C: 1

АЦП: 12 бит, 8 каналов

ЦАП: 12 бит, 1 канал

Компаратор: 2 входа

Внешняя шина: 8 разрядов

Цена: 1580 руб.

4.2.2 Микроконтроллер ATmega328



Рисунок 4.2 – Микроконтроллер ATmega328

8-битный микроконтроллер на базе Atmel picoPower AVR RISC

Основные характеристики:

32КБ ISP flash памяти;

1024Б энергонезависимой памяти EEPROM;

2КБ полупроводниковой оперативной памяти SRAM;

23 контроллера ввода/вывода;

3 счетчика/таймера;

Последовательный интерфейс;

SPI порт;

10-битный 6-канальный АЦП;

5 режимов энергосбережения;

Напряжение от 1.8 до 5.5В;

Поддерживает библиотеку Atmel® QTouch®

Цена: 150-240 руб.

4.2.3 Микроконтроллер STM32



Рисунок 4.3 – Микроконтроллер STM32

Высокопроизводительный 32-разрядный микроконтроллер фирмы STMicroelectronics, Cortex-M3 RISC процессор.

Имеет следующих характеристики:

Корпус: LQFP64

Максимальная тактовая частота: 72 МГц

Объём Flash-памяти: 128 КБ

Объём SRAM-памяти: 8 КБ

Портов ввода-вывода всего: 51

Портов толерантных к 5 В: 29

АЦП: 1× 12 битный на 16 каналов

ЦАП: 2× 12 битный

Таймеры ШИМ: 16

Аппаратные интерфейсы: 2× SPI, 2× I²C, 3× UART

Номинальное рабочее напряжение: 3,3 В

Максимальный ток с пина или на пин: 25 мА

Цена: 280 руб.

«Его основой является ЦПУ CM3Core, дополненное такими внешними устройствами, как контроллер вложенных векторных прерываний (КВВП), блок защиты памяти и система отладки и трассировки. Каждое из этих внешних устройств поддерживает расширенные возможности по конфигурации. ЦПУ ядра Cortex-M3 выполнено по гарвардской архитектуре с отдельными пространствами памяти программ и памяти данных. Этим оно отличается от ЦПУ ядер семейства

ARM7, выполненных по фон-неймановской архитектуре с общим пространством памяти данных и памяти программ. Благодаря возможности одновременного считывания из памяти кода инструкции и данных ядро Cortex-M3 способно производить несколько операций параллельно, что ускоряет выполнение программы.

Конвейер инструкций ЦПУ имеет 3 ступени для выборки инструкции, ее дешифрации и выполнения. Если на конвейере оказывается инструкция перехода, то на этапе ее дешифрации также выполняется выборка инструкции, определенной в результате предсказания перехода, что ускоряет выполнение программы.

ЦПУ Cortex-M3 поддерживает дешифрацию как традиционных инструкций Thumb, так и новых инструкций Thumb-2. В состав ЦПУ входят АЛУ с возможностями аппаратного деления и умножения данных, логика управления и интерфейсы к прочим компонентам процессора. В него также входят 13 регистров общего назначения, два указателя стека, счетчик команд и ряд специальных регистров, в т.ч. регистр статуса программы. Каналы передачи данных, банк регистров и интерфейс памяти ядра Cortex-M3 являются 32-битными. Ядро Cortex-M3 может работать в одном из двух режимов работы: «Thread» и «Handler», и поддерживает два уровня доступа к коду программы: привилегированный и непривилегированный, что облегчит реализацию сложных и открытых систем, не жертвуя при этом защищенностью системы. Код программы, исполняемый в непривилегированном режиме, имеет ограниченные возможности по доступу к некоторым ресурсам и специфическим областям памяти. Режим «Thread» является типичным режимом работы, в котором код программы может быть, как привилегированным, так и непривилегированным. Переход в режим «Handler» происходит при возникновении исключительной ситуации (exception); в данном режиме весь код программы выполняется как привилегированный. Также предусматривается такое понятие, как рабочее состояние ядра. Их два: Thumb, в котором выполнение инструкций идет обычным путем, и Debug, в котором активизируются встроенные отладочные возможности ядра.»

4.2.4 Микроконтроллер PIC16F1936



Рисунок 4.5 – Микроконтроллер PIC16F1936

Технические характеристики:

Высокопроизводительный процессор архитектуры RISC:

- 49 инструкций, выполняемых за один такт, кроме инструкций по переходу;
- Максимальная частота тактового генератора 32 МГц;
- 8 Кбайт памяти программ
- 512 байт ОЗУ
- 16-ти уровневый аппаратный стек
- Широкий диапазон питающих напряжений от 1,8 В до 5,5 В.

Периферия:

- 28 программируемых портов ввода/вывода. Один из которых работает

только на ввод:

- Повышенные нагрузочные способности;
- Индивидуально программируемые контакты для прерывания;
- Индивидуально программируемые подтягивающими резисторами

контакты;

- Модуль емкостного сенсорного ввода, так называемый тачскрин.
- Модуль вывода информации непосредственно на ЖКИ дисплей.
- АЦП:
 - 10-и битное разрешение и до 14 входных каналов
 - Встроенные переключаемые источники опорного напряжения

1.024/2.048/4.096В.

- Таймер 0: 8-и битный таймер/счетчик с 8-и битным программируемым предделителем.
- Расширенный Таймер 1:
 - Отдельный низкочастотный генератор 32 кГц;
 - 16-и битный таймер/счетчик с программируемым предделителем;
- Два модуля захвата и сравнения ШИМ модуляции (ССР):
 - 16-и битный захват, максимальное разрешение 125нсек;
 - 16-и битное сравнение, максимальное разрешение 125нсек;
 - 10-и битный ШИМ, максимальная частота 31,25 кГц;
- Три расширенных модуля захвата и сравнения ШИМ (ЕССР)
 - 3 временных интервалов работы ШИМ;
 - автоматический уход в «сон» и автоматическое «пробуждение»;
 - программируемая «мертвая зона» ШИМ;
- Последовательный порт данных в режиме Мастера (MSSP) с шиной SPI и I2CTM включает себя следующее:
 - 7-и битное маскирование адресов;
 - совместимость с SMBus/PMBusTM;
- Расширенный синхронно-/асинхронный приемопередатчик данных (EUSART):
 - совместимый с RS-232, RS-485 и LIN;
 - автоматическое определение скорости передачи;
- 2 компаратора:
 - так называемые Rail-to-rail входы/выходы;
 - управление режимами питания;
 - программный гистерезис.
- Модуль опорного напряжения:
 - фиксированное напряжения на 1,024В, 2,048В и 4,096В;
 - 5-и битный rail-to-rail резистивный ЦАП.

Цена: 54,20 – 193 руб.

Pin-диаграмма представлена на рисунке 5.6

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изд.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		29

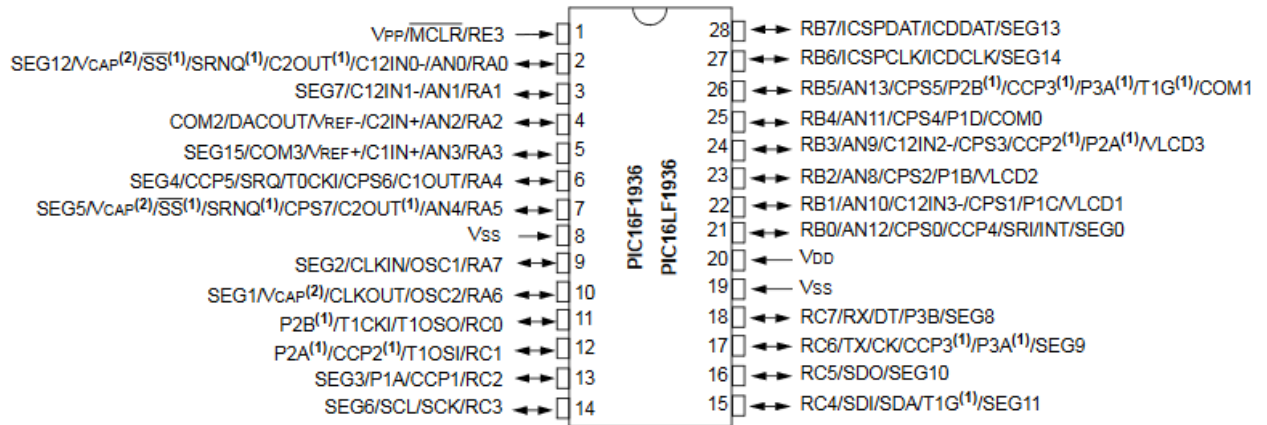


Рисунок 4.6 – Назначение выводов микроконтроллера PIC16F1936

Таким образом, рассмотрев преимущества и недостатки нескольких микроконтроллеров, в соответствии с техническим заданием был выбран микроконтроллер PIC16F1936.

4.3 Символьный ЖК-дисплей WH1602A-YGH-CT

Дисплей был выбран исходя из того, какую информацию нужно отображать, ее количества, а главное он должен быть крупным и читаться при ярком освещении. Для моей задачи потребовался двустрочный из 16-и символов, поскольку в данном случае умещается вся необходимая информация. Исходя из вышесказанного выбираем WH1602A.



Рисунок 5.9 – WH1602A-YGH-CT

Технические характеристики:

Интерфейс parallel;

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпи	Дата		30

Количество символов 16;
 Количество строк 2;
 Подсветка есть;
 Цвет желт. /зел.;
 Температурный диапазон расширенный;
 Встроенные фонты рус. /англ.;
 Напряжение питания, В 5;
 Ток потребления 100 мА;
 Вес, г 39;
 Размер 84x44 мм;
 Видимая область 66x16 мм;
 Размер символа 2.95x5.55 мм;
 Контроллер ST7066;
 Рабочая температура -20...+70 °С;
 Тип дисплея LCD STN,
 STN позитивный серый;
 Угол обзора 6: 00.

4.4 Датчик температуры и влажности

Выбран датчик с управлением по шине I2C - SHT21D.

Основные технические характеристики датчика SHT21:

Выходной сигнал.....I2C, ШИМ, SDM
 Потребляемая мощность.....1.5 мкВт
 Диапазон измерений относительной влажности..... 0 - 100%
 Диапазон рабочих температур..... -40...125°С
 Время отклика (измерения отн. влажности)..... 8 с
 Точность.....2%
 Габаритные размеры..... QFN корпус

Корпус QFN датчика имеет шесть выводов, два из которых не задействованы (таблица 1).

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		31

Таблица 1 – Описание выводов датчика

Pin	Name	Comment
1	SDA	Serial Data, bidirectional
2	VSS	Ground
5	VDD	Supply Voltage
6	SCL	Serial Clock, bidirectional
3,4	NC	Not Connected

«Датчики SHT21 в зависимости от модификации могут иметь различный формат представления выходных данных – шина I2C, ШИМ, и аналоговый выход (SDM). Соответственно, они имеют различное обозначение – SHT21D, SHT21P и SHT21S.

Использование шины I2C является удобным способом для организации управления датчиком SHT21 от микроконтроллера. Существует два режима взаимодействия между микроконтроллером и датчиком (Hold и No Hold Master Mode).»

4.5 Приемопередатчик RS-485

ADM485ARZ является EIA RS-485 приемопередатчиком малой мощности, который подходит для высокоскоростной, 2-направленной передачи данных на многоточечных шинах данных. Он обладает выделенными выходами драйвера дифференциальной линии и входами приемника. Драйвер и приемник могут быть активированы независимо. Чрезмерная рассеиваемая мощность, вызванная конфликтом шины или замыканием на выход, предотвращается схемой теплового отключения. Если во время сбоя в внутренней цепи драйвера обнаружено значительное повышение температуры, то эта функция приводит выход драйвера в состояние с высоким импедансом. Одновременно на шину можно подключить до 32 приемопередатчиков, но только один драйвер может быть включен в любое время. Поэтому важно, чтобы остальные отключенные драйверы не загружали шину. Приемник содержит отказоустойчивую функцию, которая приводит к высокому выходному состоянию логики, если входы не связаны (плавающие).

- Соответствует стандарту EIA RS-485
- Скорость передачи данных 5Мб/с
- Диапазон синфазного напряжения шины от -7 до +12В
- Высокоскоростная BiCMOS малой мощности
- Защитное отключение при перегреве
- Защита от короткого замыкания
- Типичное значение задержки распространения драйвера 10нс
- Типичное значение задержки распространения приемника 15нс
- Выходы с высоким уровнем Z во время отключения

Технические параметры

Тип	rs422, rs485 приемопередатчик
Количество драйверов / приемников	1/1
Режим работы	полудуплекс
Гистерезис приемника, мВ	70
Скорость передачи данных	5 mbps
Напряжение питания, В	4.75...5.25
Рабочая температура, °С	-40...+85

4.6 Выбор клавиатуры

Клавиатура мембранная 4x4 матрица может использоваться для управления различными устройствами, для набора кодов в кодовых замках, в пультах управления устройств для домашней автоматизации. Принцип работы – при нажатии любой клавиши замыкается между собой определенная пара проводов (рисунок 3.12).

Клавиатура мембранная подключается к микроконтроллеру посредством 9-пинового интерфейс типа «мама».



Рисунок 3.12-Матричная мембранная клавиатура 4x4, 16 кнопок

Клавиатура 4 × 4 - (матричный) мембранный переключатель на самоклеякой основе.

Размер: 85мм x 73 мм;

Клавиатура мембранная плоская на 20 клавиш (4x5 матрица);

9-пиновый интерфейс типа «мама»;

Шлейф (с коннектором) длиной 90 мм;

Напряжение питания: до 35В;

Срабатывание контакта при нажатии: не более 5 мс;

Запас долговечности: до 1 млн нажатий;

Сопротивление изоляции: 100 МОм;

Рабочая температура: 0 – 75°С.

4.7 Выбор стабилизатора напряжения

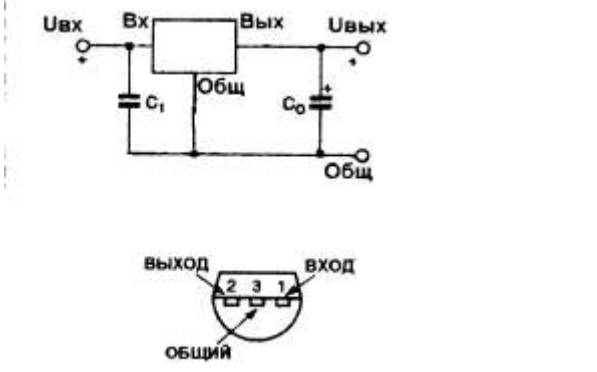
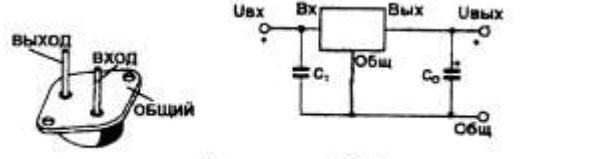
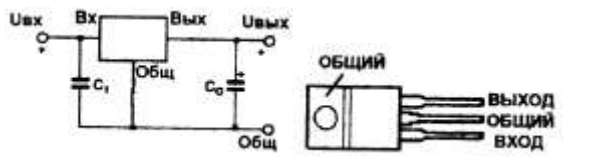
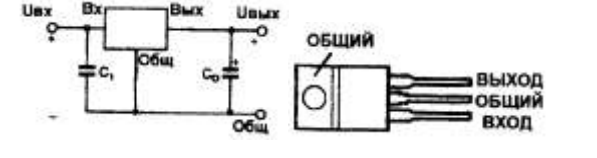
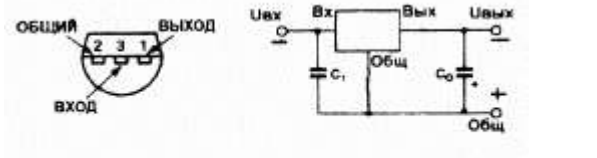
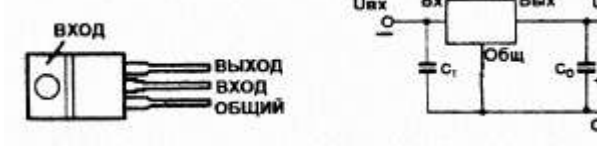
Для стабилизации напряжения применим стабилизатор.

Стабилизаторы в виде одной микросхемы (интегральные стабилизаторы) очень широко применяются во всех типах радиолюбительских, промышленных и прочих электронных конструкций. Интегральные стабилизаторы очень эффективны в работе и малогабаритны, что делает их широкоприменяемыми.

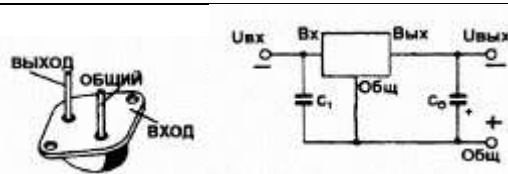
Выпускаемые микросхемные стабилизаторы напряжения способны работать в широких пределах выходных напряжения и тока, часто имеют встроенную систему защиты от перегрузки по току и от перегрева.

Зарубежные интегральные стабилизаторы представлены в таблице 1.

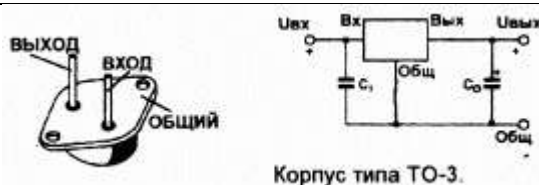
Таблица 1 – Зарубежные интегральные стабилизаторы

<p>1. Стабилизаторы серии 78Lxx, постоянного напряжения, не регулируемые, с максимальным током до 100 мА. Две последние цифры маркировки означают напряжение стабилизации: 78L02 – 2V, 78L05 – 5V, 78L06 – 6V, 78L08 – 8V, 78L09 – 9V, 78L10 – 10V, 78L12 – 12V, 78L15 – 15V.</p>	 <p>Корпус типа ТО-92.</p>
<p>2. Стабилизаторы серии 78xxKC, постоянного напряжения, не регулируемые, с максимальным током до 1,5 А. Две средние цифры означают напряжение стабилизации: 7805KC – 5V, 7812KC – 12V, 7815KC – 15V, 7824KC – 24V.</p>	 <p>Корпус типа ТО-3</p>
<p>3. Стабилизаторы серии 78xx, постоянного напряжения, не регулируемые, с максимальным током до 1 А. Две последние цифры маркировки означают напряжение стабилизации: 7805 – 5V, 7806 – 6V, 7808 – 8V, 7809 – 9V, 7810 – 10V, 7812 – 12V, 7815 – 15V, 7818 – 18 V, 7824 – 24 V</p>	 <p>Корпус типа ТО-220</p>
<p>4. Стабилизаторы серии 78Sxx, постоянного напряжения, не регулируемые, с максимальным током до 2А. Две последние цифры маркировки означают напряжение стабилизации: 78S05 – 5V, 78S75 – 7.5V, 78S09 – 9V, 78S10 – 10V, 78S12 – 12V, 78S15 – 15V, 78S18 – 18 V, 78S24 – 24 V.</p>	 <p>Корпус типа ТО-220</p>
<p>5. Стабилизаторы серии 79Lxx, постоянного напряжения, не регулируемые, с максимальным током до 100 мА. Две последние цифры маркировки означают напряжение стабилизации: 79L05 – 5V, 79L12 – 12V, 79L15 – 15V. Напряжение отрицательное.</p>	 <p>Корпус типа ТО-92.</p>
<p>6. Стабилизаторы серии 79xx, постоянного напряжения, не регулируемые, с максимальным током до 1 А. Напряжение отрицательное.</p>	 <p>Корпус типа ТО-220.</p>

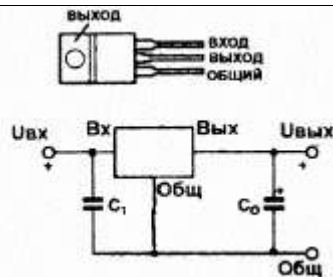
7. Стабилизаторы серии 78xxКС, постоянного напряжения, не регулируемые, с максимальным током до 1,5 А. Две средние цифры означают напряжение стабилизации: 7805КС – 5V, 7812КС – 12V, 7815КС – 15V, 7824КС – 24V.



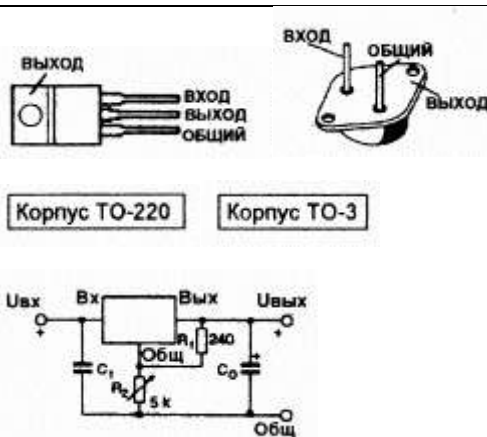
8. Стабилизаторы LM309К и LM323К, обо постоянного напряжения, не регулируемые, напряжение стабилизации +5, максимальный ток для LM309К – 1,5А, для LM323К – 3А.



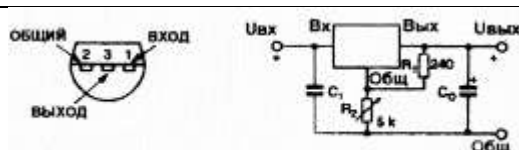
9. Стабилизаторы LT1086 – 5СТ...LT1083 - 12СР, LM323К, все постоянного напряжения, не регулируемые. Цифра перед СТ означает напряжение стабилизации (LT1086-5СТ – 5V), максимальный ток для LT1086-xxСТ – 1,5А, для LT1085-xxСТ – 3А, для LT1084-xxСТ(СР) – 5А, для LT1083-xxСТ(СР) – 7,5А. Микросхемы типа «СТ» в корпусах ТО-220, типа «СР» в корпусах ТО-220, типа (СР) в корпусах ТО-247, цоколевки одинаковые.



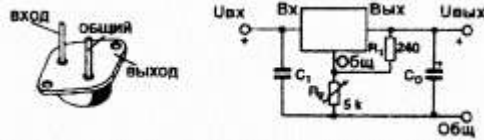
10. Регулируемые стабилизаторы LM317Т(К), LM337SP, LM350Т(К). Все постоянного напряжения. LM317Т имеет на выходе регулируемое напряжение 1,2.... ...37V (при $U_{вх} = 40V$), максимальный ток 1,5А, мощность не более 20W. LM337SP имеет на выходе регулируемое напряжение 1,2.... ...37V (при $U_{вх} = 40V$), максимальный ток 1,5А, мощность не более 20W. LM350Т имеет выходное напряжение в пределах 1,25.....33 V (при $U_{вх} = 35V$), ток не более 3А, мощность не более 30W. Регулировка напряжения резистором R2.



11. Регулируемый стабилизатор TL317LP на выходное напряжение 1,2....32V (при $U_{вх} = 40V$) и ток не больше 100 мА. Максимальная мощность 0,6W.



12. Регулируемый стабилизатор TL1038СК на выходное напряжение 1,2...30V (при $U_{вх} = 35V$) и максимальный ток 10А. Регулировка напряжения резистором R2.



4.7.1 Интегральный стабилизатор MC7805ACTG

Технические параметры MC7805ACTG:

Полярность	положительная
Тип выхода	фиксированный
Количество выходов	1
Выходное напряжение, В	5
Максимальный ток нагрузки, А	1
Падение напряжения при $I_{вых}$, В (А)	2(1)
Максимальное входное напряжение, В	35
Рабочая температура, °C	0...+125

4.7.2 Интегральный стабилизатор LM7805CT

На рисунке 3.13 показана схема подключения интегрального стабилизатора серии LM78xx.

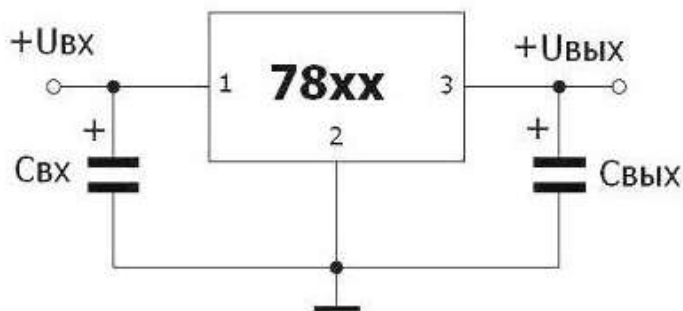


Рисунок 3.13 –Схема подключения стабилизатора

Технические параметры LM7805CT:

Полярность	положительная
Тип выхода	фиксированный

Количество выходов	1
Выходное напряжение, В	5
Максимальный ток нагрузки, А	1
Падение напряжения при $I_{вых}$, В (А)	2(1)
Максимальное входное напряжение, В	40
Рабочая температура, °С	-40...+125

Выберем стабилизатор напряжения LM7805CT.

4.8 Выбор разъемов

Для подключения мембранной клавиатуры выберем разъем серии PLS (аналог DS1021-1x10).

Шаг контактов: 2,54 мм

Материал контактов: латунь или фосф. бронза

Материал изолятора: полистирол, усиленный стекловолокном

Ток: 3А

Предельное напряжение не менее, В 500vac, 1min

Способ монтажа на плату

Количество рядов контактов: S - один ряд, D - два ряда

Общее число контактов: PLS - 1...40, D - 2...80

Вариант исполнения: без буквы - прямые контакты; R - под углом 90°

Для подключения остальных блоков будем использовать разъемы CWF-2R (аналог DS1069-2 MR-A), PLS-4 (аналог DS1021-1x4).

ПРОТОКОЛ MODBUS

Modbus – открытый коммуникационный протокол, основанный на архитектуре ведущий-ведомый (master – slave) (рисунок 2.1). Широко применяется в промышленности для организации связи между электронными устройствами. Может использоваться для передачи данных через последовательные линии связи RS-485, RS-422, RS-232, и сети TCP/IP (Modbus TCP).

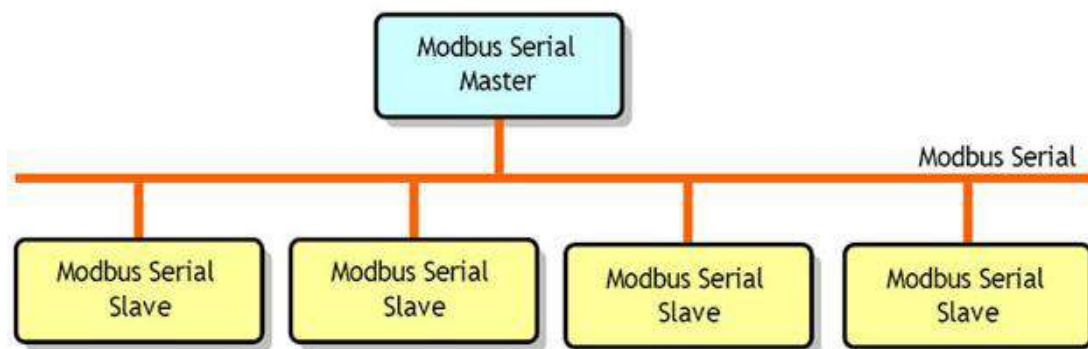


Рисунок 2.1 – Архитектура протокола Modbus

После отправки запроса ведущий (мастер) ожидает ответ в течение заданного времени («время таймаута»). Если в течение этого времени ответ не получен, мастер считает, что связь с ведомым отсутствует. На широковещательное сообщение ответ не предусмотрен.

Ведомые устройства не могут самостоятельно инициировать передачу данных. Они могут передать данные только после запроса мастера (и только те данные, которые запросит мастер).

Существует три разновидности протокола:

- ModBus ASCII — разновидность протокола, в которой сообщения кодируются с помощью ASCII-символов. Сообщения разделяются символами «:» и CR/LF. Не очень удобен, в России используется крайне редко.
- ModBus RTU — разновидность протокола, в которой сообщения кодируются «как есть» (числами). Между собой сообщения разделяются временной паузой в 3,5 символа при заданной скорости передачи.

- ModBus TCP — разновидность протокола для работы поверх TCP/IP стека, требуется при соединении устройств по Ethernet.

Специфическая терминология

- PDU (Protocol Data Unit) — общая для всех физических уровней часть пакета MODBUS. Включает в себя код функции и данные пакета.

- ADU (ApplicationDataUnit) — полный пакет MODBUS. Включает в себя специфичную для физического уровня часть пакета и PDU.

5.1 Типы данных и структура обмена данными

MODBUS специфицирует 4 типа данных:

- Discrete Inputs — однобитовый тип, доступен только для чтения.
- Coils — однобитовый тип, доступен для чтения и записи.
- Input Registers — 16-битовый знаковый или беззнаковый тип, доступен только для чтения.

- Holding Registers — 16-битовый знаковый или беззнаковый тип, доступен для чтения и записи.

Указанные типы данных необязательны для всех устройств, поддерживающих ModBus. Производитель устройства сам решает, какой тип данных сделать доступным для чтения и записи по ModBus, и об этом написано в руководстве устройства. В большинстве случаев пользуются типом Holding Registers, поскольку он самый универсальный.

Структура обмена данными по ModBus

Ведущее устройство посылает запрос одному из подчинённых устройств, указывая в запросе его адрес, или всем устройствам сразу, указывая адрес 0.

Адрес подчинённого устройства	Номер функции	Данные	Блок контроля подлинности
-------------------------------	---------------	--------	---------------------------

Рисунок 2.2 – Структура ModBus-пакета

Типовой запрос или ответ состоит из следующих блоков:

- адрес подчинённого устройства

- номер функции — определяет тип запрашиваемых данных и что с ними нужно сделать (прочитать/записать)
- данные — содержит параметры функции («куда», «сколько» и «какие» данные записывать или читать)
- блок контроля подлинности — содержит контрольную сумму для проверки целостности полученных данных.

Состав блоков «Адрес подчинённого устройства» и «Блок контроля подлинности» отличается в зависимости от версии протокола (RTU или TCP), а вот «Номер функции» и «Данные» в любой реализации одинаковы. Эти два блока образуют часть пакета, которую называют PDU (Protocol Data Unit), — именно она и важна при рассмотрении функций ModBus.

5.2 Функции ModBus

Структура функций не зависит от конкретной версии протокола (RTU или TCP).

Номер функции определяет тип запрашиваемых данных и что с ними нужно сделать (прочитать/записать).

Функций ModBus достаточно много и они разделены на три категории:

- стандартные — функции, описанные в стандарте протокола. Среди них много устаревших и неиспользуемых.

- пользовательские — диапазон номеров функций (с 65 по 72 и с 100 по 110), которые может использовать любой производитель устройств для реализации своих специфичных функций. При этом вполне возможно, что у устройств различных производителей под одинаковыми номерами будут разные по смыслу функции.

- зарезервированные — функции, не описанные в базовом стандарте, но реализованные в устройствах различных производителей. При этом гарантируется, что данные производители зарезервировали эти номера для себя и другие производители не могут ими воспользоваться.

1) Read Coils — 01 (0x01)

Функция для чтения состояния дискретных выходов устройства (рисунок 2.3).

Запрос:

Код функции	1 байт	0x01
Адрес первого дискретного входа	2 байта	0x0000...0xFFFF
Количество дискретных входов, которые нужно прочитать	2 байта	1...2000 (0x7D0)

Ответ:

Код функции	1 байт	0x01
Количество передаваемых байт данных	1 байт	N*
Полезные байты данных	n байт	n = N или N+1

Рисунок 2.3

N* — количество запрошенных дискретных выходов/8. Состояния дискретных выходов (coils) передаются в виде 8-битных слов, поэтому параметр N равен ближайшему целому количеству слов, в которые умещается заданное количество coils.

n = N, если N делится на 8 без остатка, в противном случае n=N+1. Параметр n

Например, нужно прочитать 5 выходов. Тогда в ответе $N=5/8=n=1$. То есть в ответе после кода функции будет идти 1, а потом ещё один байт, в котором младшие 5 бит будут обозначать состояние запрошенных выходов.

Если устройство обнаружило ошибку при выполнении функции, оно отвечает исключением (рисунок 2.4).

Ответ-исключение:

Код функции	1 байт	0x81
Код ошибки	1 байт	01, 02, 03 или 04

Рисунок 2.4

Коды ошибок стандартные.

Пример (рисунок 2.5):

Запрос 19 дискретных выходов, начиная с адреса 19:

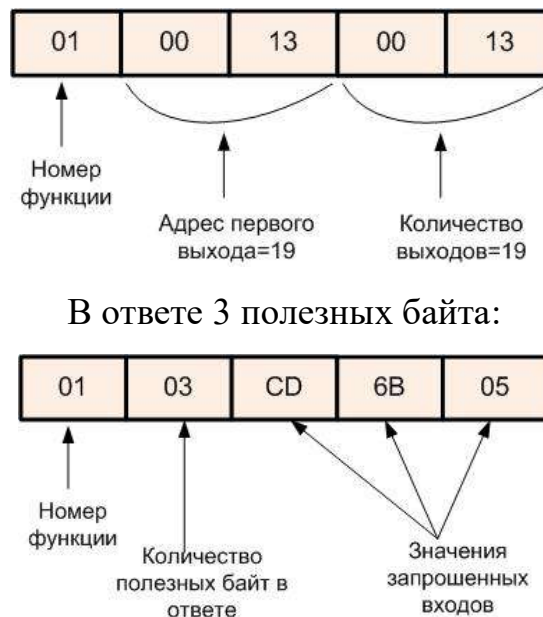


Рисунок 2.5

Состояния входов:

- 1 полезный байт — состояние выходов с адресами 19 -26: 11001101
 - 2 полезный байт — состояние выходов с адресами 27 -34: 01101011
 - 2 полезный байт — состояние выходов с адресами 35 -37: 00000101
- (значащие только 3 младших бита, остальные нули)

2) Read Discrete Inputs -02 (0x02)

Функция для чтения состояния дискретных входов устройства (рисунок 2.6).

Запрос:

Код функции	1 байт	0x02
Адрес первого дискретного входа	2 байта	0x0000...0xFFFF
Количество дискретных входов, которые нужно прочитать	2 байта	1...2000 (0x7D0)

Ответ:

Код функции	1 байт	0x02
Количество передаваемых байт данных	1 байт	N*
Полезные байты данных	n байт	n = N или N+1

Рисунок 2.6

N^* — количество запрошенных дискретных входов/8. Состояния дискретных входов (inputs) передаются в виде 8-битных слов, поэтому параметр N равен ближайшему целому количеству слов, в которые уместается заданное количество входов.

$n = N$, если N делится на 8 без остатка, в противном случае $n=N+1$. Параметр n

Например, нужно прочитать 5 входов. Тогда в ответе $N=5/8=n=1$. То есть в ответе после кода функции будет идти 1, а потом ещё один байт, в котором младшие 5 бит будут обозначать состояние запрошенных входов.

Если устройство обнаружило ошибку при выполнении функции, оно отвечает исключением (рисунок 2.7).

Ответ-исключение:

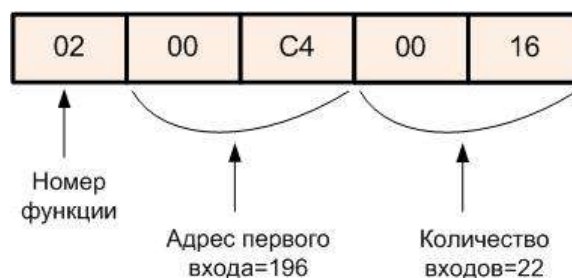
Код функции	1 байт	0x82
Код ошибки	1 байт	01, 02, 03 или 04

Рисунок 2.7

Коды ошибок стандартные.

Пример (рисунок 2.8):

Запрос 22 дискретных входа, начиная с адреса 196:



В ответе 3 полезных байта:

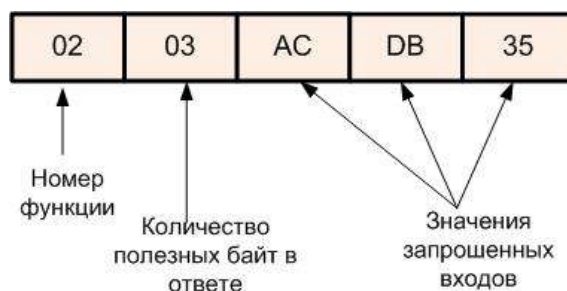


Рисунок 2.8

Состояния входов:

1 полезный байт — состояние выходов с адресами 196 -203: 10101100

2 полезный байт — состояние выходов с адресами 204 -211: 11011011

2 полезный байт — состояние выходов с адресами 212 -217: 00110101

(значачие только 6 младших бита, остальные нули)

3) Read Holding Registers — 03 (0x03)

Функция для чтения регистров общего назначения устройства (рисунок 2.9).

Запрос:

Код функции	1 байт	0x03
Адрес первого регистра	2 байта	0x0000...0xFFFF
Количество регистров, которые нужно прочитать	2 байта	1...125 (0x7D)

Ответ:

Код функции	1 байт	0x03
Количество передаваемых байт данных	1 байт	2* N
Полезные байты данных	N * 2 байта	

Рисунок 2.9

N — количество запрошенных регистров. Каждый регистр состоит из двух байт, поэтому количество полезных байт в ответе равно 2*N.

Если устройство обнаружило ошибку при выполнении функции, оно отвечает исключением (рисунок 2.10).

Ответ-исключение:

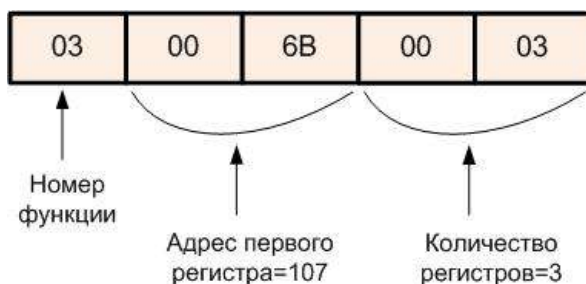
Код функции	1 байт	0x82
Код ошибки	1 байт	01, 02, 03 или 04

Рисунок 2.10

Коды ошибок стандартные.

Пример (рисунок 2.11):

Запрос на чтение трёх регистров начиная с адреса 107:



В ответе значение 3-х регистров = 6 полезных байта:

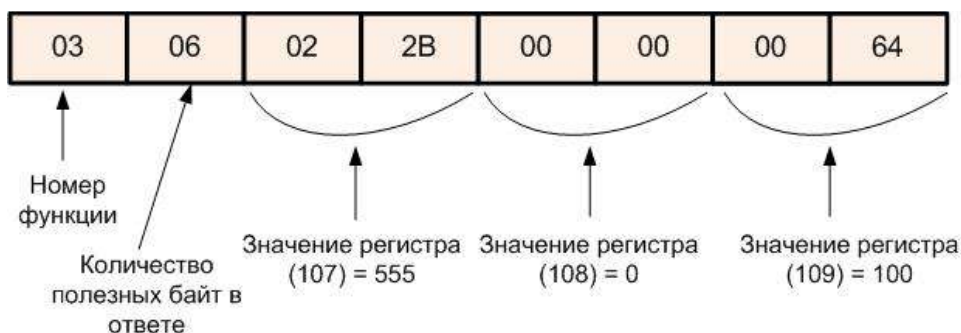


Рисунок 2.11

Значения регистров (в десятичном виде):

регистр с адресом 107: 555

регистр с адресом 108: 0

регистр с адресом 109: 100

4) Read Input Registers — 04 (0x04)

Функция для чтения входных регистров устройства. По своей структуре полностью идентична предыдущей функции, поэтому разбирать её подробно не имеет смысла.

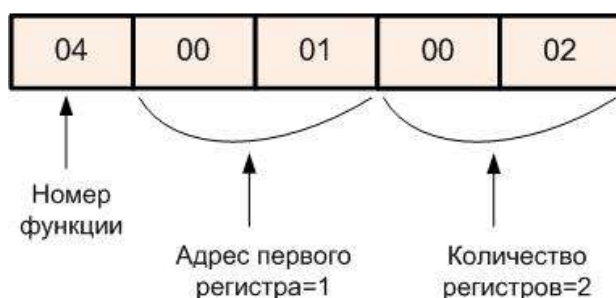
Единственное отличие этой функции от функции 0x03 Read Holding Registers в том, что она обращается к другой области внутри устройства.

Производитель устройства с поддержкой ModBus сам определяет область памяти, в которой будут храниться «Input Registers».

Input Registers — также 16-битные регистры. В классическом представлении ModBus эти регистры предназначены для хранения значений сигнала на аналоговых входах устройства.

Пример (рисунок 2.12):

Запрос двух входных регистров, начиная с адреса 1:



В ответе содержится значения двух регистров = 4 байта данных:

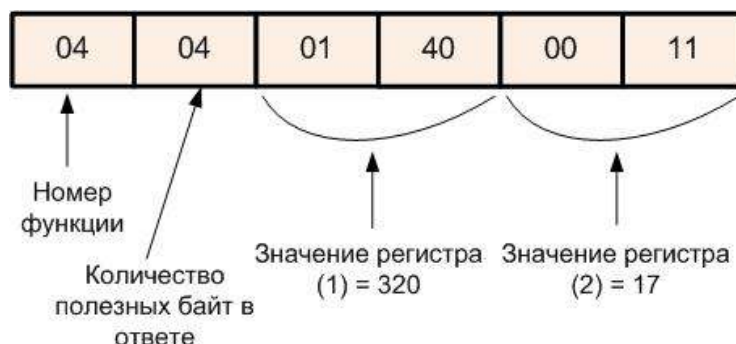


Рисунок 2.12

Значения регистров (в десятичном виде):

регистр с адресом 1: 320

регистр с адресом 2: 17

5) Write Single Coil — 05 (0x05)

Функция для изменения состояния одного из дискретных выходов (coil) устройства.

Состояние выхода («вкл»/ «выкл») определяется константой, записываемой в регистр, соответствующий данному выходу. Значение константы 0xFF00 — определяет состояние «ВКЛ», а значение 0x0000 — состояние «ВЫКЛ» (рисунок 2.13).

Запрос:

Код функции	1 байт	0x05
Адрес выхода (Coil)	2 байта	0x0000...0xFFFF
Желаемое состояние выхода	2 байта	0x0000 или 0xFF00

Ответ:

Код функции	1 байт	0x05
Адрес выхода (Coil)	2 байта	0x0000...0xFFFF
Текущее состояние выхода	2 байта	0x0000 или 0xFF00

При успешном выполнении команды ответ совпадает с запросом.

Ответ-исключение:

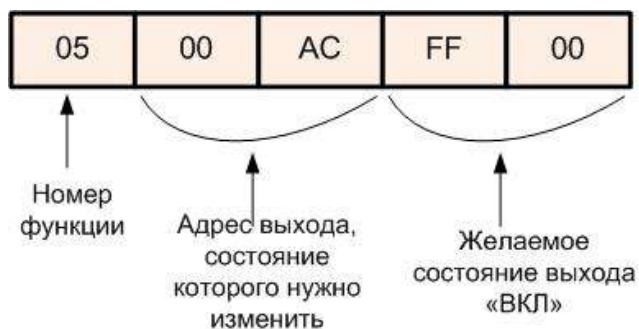
Код функции	1 байт	0x85
Код ошибки	1 байт	01, 02, 03 или 04

Рисунок 2.13

Коды ошибок стандартные.

Пример (рисунок 2.14):

Запрос на «включение» выхода с адресом 172:



Если команда выполнена без ошибок, то ответ совпадает с запросом:

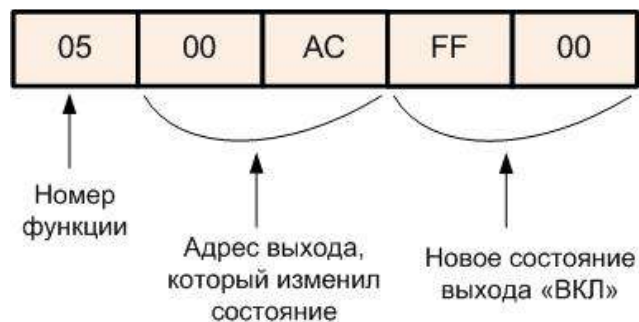


Рисунок 2.14

6) Write Single Register — 06 (0x06)

Функция для записи значения в один из регистров общего назначения (holding registers) устройства (рисунок 2.15).

Состояние выхода («вкл»/ «выкл») определяется константой, записываемой в регистр, соответствующий данному выходу. Значение константы 0xFF00 — определяет состояние «ВКЛ», а значение 0x0000 — состояние «ВЫКЛ».

Запрос:

Код функции	1 байт	0x06
Адрес регистра	2 байта	0x0000...0xFFFF
Значение, которое нужно записать в регистр	2 байта	0x0000 или 0xFFFF

Ответ:

Код функции	1 байт	0x06
Адрес регистра	2 байта	0x0000...0xFFFF
Новое значение регистра	2 байта	0x0000 или 0xFFFF

Рисунок 2.15

При успешном выполнении команды ответ совпадает с запросом.

Ответ-исключение (рисунок 2.16):

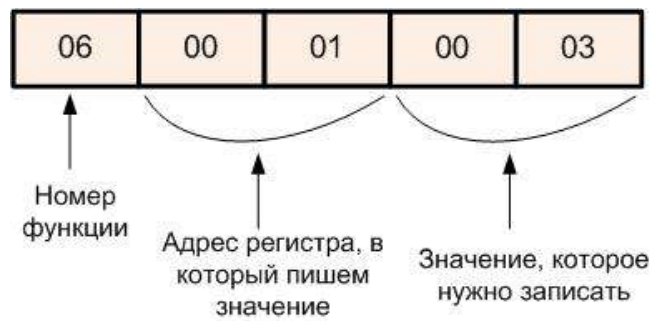
Код функции	1 байт	0x86
Код ошибки	1 байт	01, 02, 03 или 04

Рисунок 2.16

Коды ошибок стандартные.

Пример (рисунок 2.17):

Запись значения «3» в регистр с адресом 1:



Если команда выполнена без ошибок, то ответ совпадает с запросом:

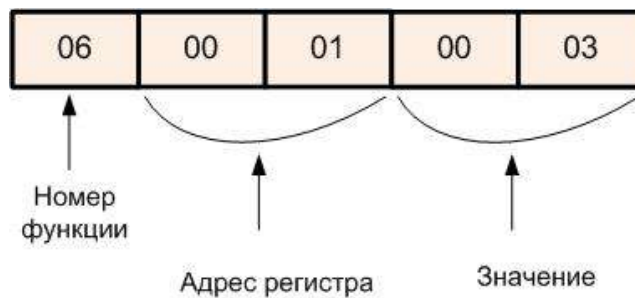


Рисунок 2.17

5.3 Достоинства и недостатки стандарта

Основные достоинства стандарта — открытость и массовость. Практически все промышленные системы контроля и управления имеют программные драйверы для работы с MODBUS-сетями.

Недостатки стандарта

Стандарт в своей основе был разработан в 1979 году с учётом потребностей и вычислительных возможностей того времени, и многие актуальные для современных промышленных сетей вопросы не были учтены. Необходимо отметить, что отсутствие перечисленных возможностей является следствием простоты протокола, которая облегчает его изучение и ускоряет внедрение.

- Стандарт специфицирует метод передачи только двух типов данных. Отсутствие чёткого указания в стандарте привело к тому, что с другими типами данных сторонние производители MODBUS-решений поступали по своему усмотрению. Различие мнений производителей оборудования в этом вопросе не

позволило впоследствии сделать уточнения в официальном документе: это вызвало бы всплеск недовольства производителей несогласных с предлагавшимися поправками стандарта и возможную войну форматов.

- Стандарт не регламентирует начальную инициализацию системы. Назначение сетевых адресов и прописывание в системе параметров каждого конкретного устройства выполняются вручную на этапе адаптации и программирования системы.

- Не предусмотрена передача сообщений по инициативе подчинённого устройства (прерываний). Ведущее устройство должно периодически опрашивать ведомые.

- Длина запроса ограничена, а данные могут быть запрошены только из последовательно расположенных регистров. Это увеличивает задержки и накладные расходы при использовании сети, так как для получения данных из регистров, расположенных далеко друг от друга в адресном пространстве, мастер должен либо запрашивать ненужные данные, либо использовать несколько запросов.

- Не предусмотрен способ, с помощью которого подчинённое устройство могло бы обнаружить потерю связи с ведущим.

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпи	Дата		51

6 СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ

Структурная схема устройства приведена на рисунке 6.1. Состоит она из следующих узлов: блока устройства управления, передающего сигнал на блок исполнительного механизма, который в свою очередь передает сигнал на блок объекта управления. Блоки связаны обратной связью.

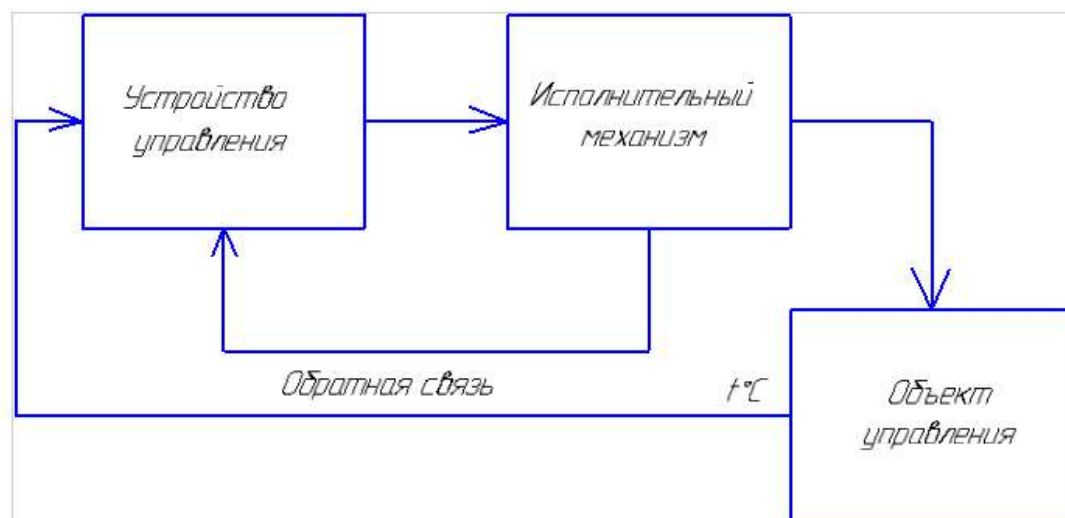


Рисунок 6.1 – Структурная схема парового терморегулятора

Рассмотрим схему электрическую принципиальную (приложение А).

Микроконтроллер PIC16F1936-I/SP, обозначен на схеме как DD1. В нем записана управляющая программа, которая анализирует входные сигналы, с датчиков и клавиатуры. При поступлении сигналов, микроконтроллер обрабатывает их, затем выдает полученную информацию на жк-дисплей, а также на исполнительные устройства.

Клавиатура, жк-дисплей и датчики температуры и давления подключаются через разъемы, также через разъемы происходит подача питания и выход с ШИМ на электродвигатель КЗР.

Источник вторичного питания состоит из понижающего трансформатора Т1, далее идет однофазная мостовая схема выпрямления – диодный мост VD1, после которой получаем не стабилизированное напряжение 24В, требуемое для двигателя КЗР, диодный мост VD2, после которого идет интегральный

стабилизатор напряжения DA1 для получения стабилизированного напряжения 5В, требуемого для микроконтроллера, жк-дисплея и датчиков. Благодаря стабилизатору напряжения выход фиксируется на определенном уровне без ощутимых скачков и шумов. Чтобы эффективно минимизировать шумы на выходе и максимально сделать выходное напряжение стабильным, нужно подключить ко входу и выходу стабилизатора блокировочные, сглаживающие конденсаторы C1,C2,C3,C4. Здесь конденсатор C1 представляет собой байпасный или блокировочный конденсатор и используется для гашения на землю очень быстрых по времени входных скачков. C2 является фильтрующим конденсатором, позволяющим стабилизировать медленные изменения напряжения на входе. Чем больше его значение, тем больше уровень стабилизации, но не стоит брать это значение слишком большим, если не хотите, чтобы он разряжался дольше после включения. Конденсатор C3 также стабилизирует медленные изменения напряжения, но уже на выходе. Конденсатор C4, как и C1, гасит очень быстрые скачки, но уже после регулятора и непосредственно перед нагрузкой.

На разъеме XT2 9 контактов (K1-K5 и D4-D7) делятся программно, где K1-K5 – выход клавиатуры, D4-D7 – вход клавиатуры и дисплея: при сигнале E реагирует дисплей, а когда к клавиатуре идет опрос от контроллера, то дисплей не реагирует.

DD2 – датчик температуры и влажности, DD3 –приемопередатчикRS-485.

РезисторыR2,R3 – подтягивающие, служат для того, чтобы напряжение на выводе поддерживалось на стабильно высоком уровне - близком к напряжению питания.

Знакосинтезирующий индикатор WH1602L-YYH-CT необходим для отображения информации о режимах работы и диагностике неисправностей. Данный индикатор двустрочный и состоит из 16 знакомест. Индикатор отображает символы из собственной таблицы, которая занесена в память индикатора. Имеется русский шрифт. Обозначается на схеме HG1.

Дополнительно замечу, что на схеме отсутствует кварцевый резонатор. Его роль выполняет встроенный генератор в самом микроконтроллере. Точность его

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Подпи	Дата		53

составляет $\pm 2\%$ в диапазоне температур от 0°C до $+60^{\circ}\text{C}$, что вполне допустимо по техническому заданию.

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Из	Лист	№ докум	Подпи	Дата		54

7 АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОПИСАНИЕ ПО

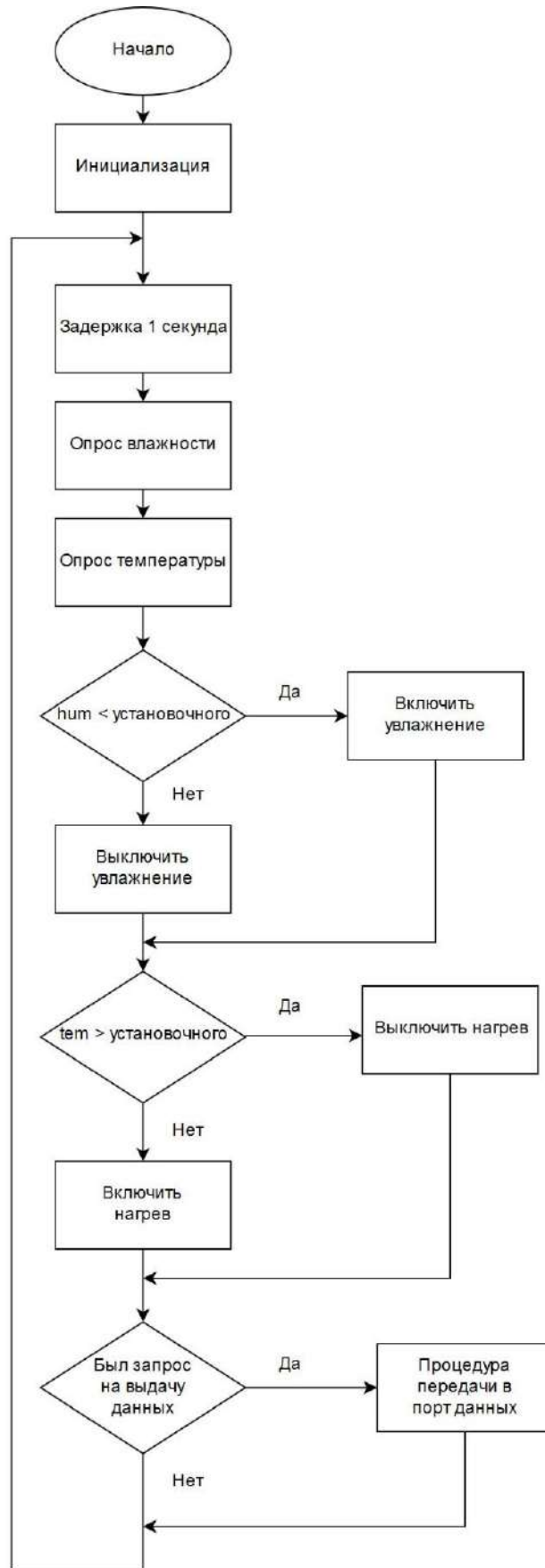


Рисунок 7.1 – Блок схема алгоритма работы основной части программы



Рисунок 7.2 – Блок схема алгоритма работы по прерыванию

При запросе данных о температуре и влажности компьютер отправляет в порт код 0x4D (символ «М») и код 0x0D (возврат каретки). После этого в течение секунды происходит ответ от контроллера в формате (рисунок 7.3):

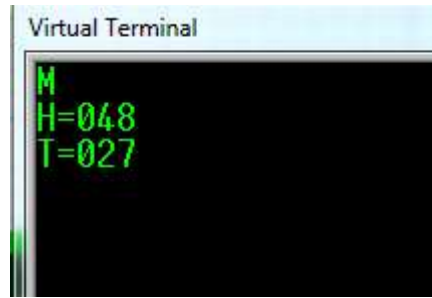


Рисунок 7.3 – Ответ от контроллера (H – значение влажности в процентах,
T – температура в градусах Цельсия)

Программа была написана на языке программирования Си в среде разработки MPLABXIDEv.4.

Исходный код ПО в приложении А.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания работы разработано программное обеспечение системы управления паровой термообработки железобетонных изделий, программный код для системы управления реализован на языке С с использованием интегрированной среды разработки MPLABIDEX v.4.00.

Программное обеспечение реализует следующие функции:

- измерение температуры и относительной влажности в камере, передачу измеренных параметров и состояние управляющих элементов по интерфейсу RS485 в управляющую ПЭВМ;
- контроль времени технологического процесса;
- регулирование температуры теплоносителя по заданным параметрам — подача пара в установку путем открытия/закрытия задвижки на паропроводе;
- останов процесса: по штатному завершению программы; автоматически по аварии; с кнопки на блоке управления.

Написана программа управления на языке программирования Си в среде MPLABIDEX v4.00.

Требования технического задания выполнены в полном объёме, разработка программного обеспечения системы управления паровой термообработки железобетонных изделий завершена.

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		58

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Ашарина, И. В. Основы программирования на языках С и С++: Курс лекций для высших учебных заведений / И.В. Ашарина. – М.: ГЛТ, 2018. – 208 с.
- 2 Деркач А и др. Опыт автоматизации термовлажностной обработки бетона, «Современные технологии автоматизации» М.: №4, 2009 (стр.48)
- 3 Кениг, Э. Эффективное программирование на С++. Практическое программирование на примерах. Т.2 / Э. Кениг, Б. Э. Му. – М.: Вильямс, 2016. – 368 с.
- 4 Пособие по тепловой обработке железобетонных изделий продуктами сгорания природного газа., М:2008, 21с.
- 5 Рюмик С.М. 1000 и одна микроконтроллерная схема. Выпуск 1. – Москва. Издательский дом «Додэка-XXI», 2010. – 356с.
- 6 Рюмик С.М. 1000 и одна микроконтроллерная схема. Выпуск 2. – Москва. Издательский дом «Додэка-XXI», 2011. – 400с.
- 7 Уилмсхерст Т. Разработка встроенных систем с помощью микроконтроллеров PIC/ Принципы и практические примеры: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА-ВЕК», 2016. – 544с.
- 8 Зарубежные интегральные стабилизаторы – [http:// poleznyj-opyt/zarubezhnye-integralnye-stabilizatory.html](http://poleznyj-opyt/zarubezhnye-integralnye-stabilizatory.html)
- 9 Микроконтроллер PIC16F1936 - <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41364E.pdf>
- 10 Микроконтроллеры PIC16FXX: основные характеристики, особенности и карта памяти -<http://radio-hobby.org/modules/news/article.php?storyid=934>
- 11 Оригинальное руководство по использованию MPLAB IDE X v.4.00 - <https://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>
- 12 Оригинальные спецификации протокола на английском языке – <http://www.modbus.org/specs.php>
- 13 Оригинальные спецификации протокола на английском языке – <http://www.modbus.org/tech.php>

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изд.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		59

14Протокол Modbus сообщения – http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf

15 Средства разработки программного кода PIC контроллеров - http://portalnp.ru/wp-content/uploads/2017/02/06.05_MPLAB_IDE_for-PIC_controllers_1b.pdf

16Учебник по интерфейсу Modbus – <https://www.lammertbies.nl/comm/info/modbus.html>

17Функции протокола Modbus – <http://lazysmart.ru/promy-shlennaya-avtomatizatsiya/standartny-e-funktsii-protokola-modbus/>

18 <https://www.chipdip.ru/video/id000271907>

19 <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/52733/FAIRCHILD/H21A1.html>

20 <https://www.chipdip.ru/product/8376999899>

21 <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>

22 <https://www.chipdip.ru/product/wh2002a-ygh-ct>

23 <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/48736/AD/ADM485.html>-
документация на приемопередатчик RS-485

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		60

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходный код ПО системы управления паровой термообработки железобетонных изделий

```
// CONFIG1
#pragma config FOSC = INTOSC      // Oscillator Selection (INTOSC
oscillator: I/O function on CLKIN pin)
#pragma config WDTE = OFF         // Watchdog Timer Enable (WDT
disabled)
#pragma config PWRTE = ON        // Power-up Timer Enable (PWRT
enabled)
#pragma config MCLRE = OFF       // MCLR Pin Function Select
(MCLR/VPP pin function is digital input)
#pragma config CP = OFF          // Flash Program Memory Code
Protection (Program memory code protection is disabled)
#pragma config CPD = OFF        // Data Memory Code Protection (Data
memory code protection is disabled)
#pragma config BOREN = ON       // Brown-out Reset Enable (Brown-out
Reset enabled)
#pragma config CLKOUTEN = OFF    // Clock Out Enable (CLKOUT function
is disabled. I/O or oscillator function on the CLKOUT pin)
#pragma config IESO = OFF       // Internal/External Switchover
(Internal/External Switchover mode is disabled)
#pragma config FCMEN = OFF      // Fail-Safe Clock Monitor Enable
(Fail-Safe Clock Monitor is disabled)

// CONFIG2
#pragma config WRT = OFF         // Flash Memory Self-Write Protection
(Write protection off)
#pragma config PLLEN = OFF      // PLL Enable (4x PLL disabled)
#pragma config STVREN = ON     // Stack Overflow/Underflow Reset
Enable (Stack Overflow or Underflow will cause a Reset)
#pragma config BORV = HI        // Brown-out Reset Voltage Selection
(Brown-out Reset Voltage (Vbor), high trip point selected.)
```

					27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпи.	Дата		61

```

#pragma config LVP = OFF          // Low-Voltage Programming Enable
(High-voltage on MCLR/VPP must be used for programming)

// #pragma config statements should precede project file includes.
// Use project enums instead of #define for ON and OFF.

#include <xc.h>

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
//#include "pic.h"

#define _XTAL_FREQ 4000000

#define UVL LATA0
#define NAG LATA1
#define bs(var, bitno) ((var) |= 1UL << (bitno))

#define bc(var, bitno) ((var) &= ~(1UL << (bitno)))

unsigned char h[3], t[3], rx[3], x, humth=50, temth=40;
unsigned int  dat;
unsigned long hum, tem, adc, l, m;
bit compl=0, rxd=0;

void SND (void){
    TXREG='H';
    while (!TXIF);
    TXREG='=';
    while (!TXIF);
    for (x=0; x<3; x++)
        {
            TXREG=h[x];

```

```
        while (!TXIF);
    }
    TXREG=0x0D;
    while (!TXIF);
    TXREG=0x0A;
    while (!TXIF);
    TXREG='T';
    while (!TXIF);
    TXREG='=';
    while (!TXIF);
    for (x=0; x<3; x++)
    {
        TXREG=t[x];
        while (!TXIF);
    }
    TXREG=0x0D;
    while (!TXIF);
    TXREG=0x0A;
    while (!TXIF);
    compl=0;
}

void BCD2BIN (void){
    rx[0]=rx[0]&0b00001111;
    rx[1]=rx[1]&0b00001111;
    rx[2]=rx[2]&0b00001111;
    dat=rx[0]*100+rx[1]*10+rx[2];
}

void interrupt int_(void){

    if (RCIF) {
        if (RCREG=='H')
        {
```

```

        for (x=0; x<3; x++)

            {

                while (!RCIF);
                rx[x]=RCREG;

            }

        BCD2BIN();
        humth=dat;
    }

    if (RCREG=='T')
    {

        for (x=0; x<3; x++)

            {

                while (!RCIF);
                rx[x]=RCREG;

            }

        BCD2BIN();
        temth=dat;
    }

    if (RCREG=='M') {
        while (!RCIF);
        if (RCREG==0x0D) compl=1;
    }

}

}

void BIN2BCD (void){
    h[0]=hum/100;
    h[1]=hum/10-h[0]*10;
    h[2]=hum-h[0]*100-h[1]*10;

```

```

    h[0]=h[0]|0b00110000;
    h[1]=h[1]|0b00110000;
    h[2]=h[2]|0b00110000;
    t[0]=tem/100;
    t[1]=tem/10-t[0]*10;
    t[2]=tem-t[0]*100-t[1]*10;
    t[0]=t[0]|0b00110000;
    t[1]=t[1]|0b00110000;
    t[2]=t[2]|0b00110000;

}

void I2C_HUM(void){

SEN=1;                //стартовый бит
    while (!SSP1IF);    //ожидание флага передачи
    SSP1IF=0;           //сброс флага передачи

    SSPBUF=0b10000000;  //передачи адреса

    while (!SSP1IF);    //ожидание флага передачи
    SSP1IF=0;           //сброс флага передачи
    while (ACKSTAT);    //ожидание ACK

    SSPBUF=0xF5;        //команда для датчика
    while (!SSP1IF);    //ожидание флага передачи
    SSP1IF=0;           //сброс флага передачи
    while (ACKSTAT);    //ожидание ACK

    __delay_ms(30);     //пауза ожидание обработки датчика

    RSEN=1;             //повторный старт
    while (!SSP1IF);    //ожидание флага передачи

```

27.03.04.2021.053.00.00 ПЗ

Лист

65

Продолжение приложения А

```

SSP1IF=0; //сброс флага передачи

SSPBUF=0b10000001; //адрес ответа датчика
while (!SSP1IF); //ожидание флага передачи
SSP1IF=0; //сброс флага передачи
while (ACKSTAT); //ожидание ACK

RCEN=1; //прием данных
while (!SSP1IF); //ожидание флага приема
SSP1IF=0; //сброс флага передачи
m=SSPBUF; //запись старшего байта в переменную

ACKDT=0; //ACK
ACKEN=1; //стробд для ACK
while (!SSP1IF); //ожидание флага приема
SSP1IF=0; //сброс флага передачи

RCEN=1; //прием данных
while (!SSP1IF); //ожидание флага приема
SSP1IF=0; //сброс флага передачи
l=SSPBUF; //запись младшего байта в переменную

ACKDT=0; //ACK
ACKEN=1; //стробд для ACK
while (!SSP1IF); //ожидание флага приема
SSP1IF=0; //сброс флага передачи

RCEN=1; //прием данных (контрольная сумма,
не используем)
while (!SSP1IF); //ожидание флага приема
SSP1IF=0; //сброс флага передачи

```

```

ACKDT=1;           //АСК

ACKEN=1;           //стробддляАСК
while (!SSP1IF);   //ожидание флага приема
    SSP1IF=0;       //сброс флага передачи

    PEN=1;          //стоповый бит
    while (!SSP1IF); //ожидание флага передачи
    SSP1IF=0;       //сброс флага передачи

    adc=(m<<8)+1;   //объединение младшего и старшего байта
в одну переменную
    hum=((adc*125)/65536)-6; //вычисление влажности
}

void I2C_TEM(void){
SSP1CON1=0b00111000;
    SSP1ADD=9;
    SSPEN=1;
    SEN=1;          //стартовыйбит
while (!SSP1IF);   //ожиданиефлагапередачи
SSP1IF=0;          //сброс флага передачи

    SSPBUF=0b10000000; //передачи адреса
while (!SSP1IF);   //ожидание флага передачи
    SSP1IF=0;       //сброс флага передачи
while (ACKSTAT);   //ожидание АСК

    SSPBUF=0xF3;     //команда для датчика
while (!SSP1IF);   //ожидание флага передачи
    SSP1IF=0;       //сброс флага передачи
while (ACKSTAT);   //ожидание АСК

```

```

RSEN=1; //повторный старт
while (!SSP1IF); //ожидание флага передачи
SSP1IF=0; //сброс флага передачи

__delay_ms(90); //пауза ожидание обработки датчика

SSPBUF=0b10000001; //адрес ответа датчика
while (!SSP1IF); //ожидание флага передачи
SSP1IF=0; //сброс флага передачи
while (ACKSTAT); //ожидание ACK

RCEN=1; //прием данных
while (!SSP1IF); //ожидание флага приема
SSP1IF=0; //сброс флага передачи
m=SSPBUF; //запись старшего байта в переменную

ACKDT=0; //ACK
ACKEN=1; //стробд для ACK

while (!SSP1IF); //ожидание флага приема
SSP1IF=0; //сброс флага передачи

RCEN=1; //прием данных
while (!SSP1IF); //ожидание флага приема
SSP1IF=0; //сброс флага передачи
l=SSPBUF; //запись младшего байта в переменную

ACKDT=0; //ACK
ACKEN=1; //стробд для ACK
while (!SSP1IF); //ожидание флага приема
SSP1IF=0; //сброс флага передачи

RCEN=1; //прием данных (контрольная сумма, не

```

Продолжение приложения А

используем))

```
        while (!SSP1IF);           //ожидание флага приема
        SSP1IF=0;                   //сброс флага передачи

ACKDT=1;                           //ACK
ACKEN=1;                           //стробддляACK
while (!SSP1IF);                   //ожидание флага приема
    SSP1IF=0;                       //сброс флага передачи

    PEN=1;                          //стоповый бит
    while (!SSP1IF);               //ожидание флага передачи
    SSP1IF=0;                       //сброс флага передачи

        adc=(m<<8)+1;             //объединение младшего и старшего байта в
одну переменную
        tem=((adc*175)/65536)-46;   //вычисление влажности
    }

void main(void) {
    OSCCON=0b11101010;
    OPTION_REG=0b1111010;
    PORTA=0;
    TRISA=0b00000000;
    TRISC=255;
    INTCON=0b11000000;
    ANSEL=0b00000000;

    RCIE=1;
    TX9=0;
    RX9=0;
    BRGH=1;
    BRG16=0;
    SPBRG=25;
```

```
SPBRGH=0;
```

Окончание приложения А

```
SYNC=0;
```

```
SPEN=1;
```

```
CREN=1;
```

```
TXEN=1;
```

```
SSP1CON1=0b00011000;
```

```
SSP1ADD=9;
```

```
SSPEN=1;
```

```
__delay_ms(100);
```

```
while (1){
```

```
    __delay_ms(1000);
```

```
    I2C_HUM();
```

```
    I2C_TEM();
```

```
    if (hum<humth) UVL=1;
```

```
    else UVL=0;
```

```
    if (tem>=temth) NAG=0;
```

```
    else NAG=1;
```

```
        if (compl) {BIN2BCD(); SND();} //передача данных, если  
была команда
```

```
//        if (rx) {BCD2BIN(); rx=0;}
```

```
    }
```

```
}
```