

**А. И. Новиков
Е. П. Дятлова
М. А. Новикова**

**ПРОГРАММИРОВАНИЕ И НАЛАДКА
КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ**

КОНТРОЛЛЕР КОНТАР

Учебно-методическое пособие

**Санкт-Петербург
2024**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики**

**А. И. Новиков
Е. П. Дятлова
М. А. Новикова**

**ПРОГРАММИРОВАНИЕ И НАЛАДКА
КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ**

КОНТРОЛЛЕР КОНТАР

Учебно-методическое пособие

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург
2024

УДК 681.3:621.316(075)

ББК 32.973я7

Н731

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и информатики Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

И. В. Ремизова;

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации процессов химической промышленности Санкт-Петербургского государственного технологического института (Технического университета)

Л. А. Русинов

Новиков, А. И.

Н731 Программирование и наладка контроллеров для систем автоматизации и управления. Контроллер КОНТАР : учебно- методическое пособие / А. И. Новиков, Е. П. Дятлова, М. А. Новикова — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2024. — 78 с.

Учебно-методическое пособие соответствует программе и учебному плану дисциплины «Программирование и наладка контроллеров для систем автоматизации и управления» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах». Пособие также может быть полезно при изучении дисциплин «Программирование контроллеров» и «Программирование и наладка контроллеров в системах автоматизации» соответствующих программам и учебным планам по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств».

В учебно-методическом пособии изложена методология разработки и настройки релейных и аналоговых регуляторов с применением инструментальной программной системы КОНГРАФ. Приведены примеры расчета настроек аналогового регулятора.

Пособие предназначено для подготовки бакалавров очной формы обучения. Отдельные разделы пособия могут быть полезны бакалаврам, магистрам, аспирантам и специалистам, работающим в области программирования контроллеров.

УДК 681.3:621.316(075)

ББК 32.973я7

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024

© Новиков А. И., Дятлова Е. П.,
Новикова М. А., 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 4 |
| 1. РЕЛЕЙНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ | 5 |
| 1.1. Измерительный контроллер ПТК КОНТАР МС5 | 5 |
| 1.2. Инструментальная программная система КОНГРАФ | 8 |
| 1.3. Программа КОНСОЛЬ | 9 |
| 1.4. Релейные регуляторы | 11 |
| 2. АНАЛОГОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ | 15 |
| 2.1. Аналоговый выходной сигнал | 15 |
| 2.2. Твердотельное реле | 15 |
| 2.3. Аналоговый регулятор | 16 |
| 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ | 20 |
| 3.1. Описание стенда для выполнения лабораторных работ | 20 |
| 3.1.1. Состав лабораторной установки | 21 |
| 3.1.2. Функциональная схема автоматизации | 21 |
| 3.1.3. Электрическая принципиальная схема подключений и соединений | 22 |
| 3.2. Лабораторная работа № 1. Релейное регулирование | 23 |
| 3.3. Контрольные вопросы | 50 |
| 3.4. Лабораторная работа № 2. Сравнение работы ПИ-регулирования с релейным регулированием | 50 |
| 3.5. Контрольные вопросы | 69 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 70 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК | 71 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1 | 73 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 2 | 74 |

ВВЕДЕНИЕ

Измерительный контроллер МС5 входит в состав программно-технического комплекса КОНТАР и предназначен для обеспечения автоматизации, диспетчеризации и мониторинга некрупных производственных процессов или промышленных объектов.

Инструментальная программная система КОНГРАФ предназначена для разработки алгоритмов управления для приборов комплекса КОНТАР. Для создания программы управления в КОНГРАФ используется графический язык программирования FBD (Function Block Diagram) стандарта МЭК 61131-3.

В КОНГРАФ имеется большая библиотека блоков, которую можно наращивать. Отсутствующий в библиотеке блок можно создать самостоятельно и добавить в пользовательскую библиотеку. Данная среда разработки позволяет разрабатывать программы не только для одного контроллера, но и для контроллеров и модулей, объединенных в единую сеть.

Релейные (позиционные) регуляторы выдают сигнал, который обеспечивает перемещение регулирующего органа в одно из фиксированных положений (позиций). Их может быть два, три и более. По количеству позиций различают двух-, трех- и многопозиционные регуляторы. Двухпозиционные регуляторы обеспечивают хорошее качество регулирования для инерционных объектов с малым запаздыванием, не требуют настройки и просты в эксплуатации.

Для регулирования объектами управления могут использоваться не только двухпозиционные (релейные) регуляторы, но и аналоговые. После реализуют типовые законы регулирования (ПИ, ПИД и т.п.), названия которых соответствуют названиям типовых звеньев.

1. РЕЛЕЙНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

1.1. Измерительный контроллер ПТК КОНТАР MC5

Измерительный контроллер MC5 (рис.1 [1]) входит в состав программно-технического комплекса (ПТК) КОНТАР и предназначен для обеспечения автоматизации, диспетчеризации и мониторинга некрупных производственных процессов или промышленных объектов. Наиболее часто используется в системах вентиляции и кондиционирования.

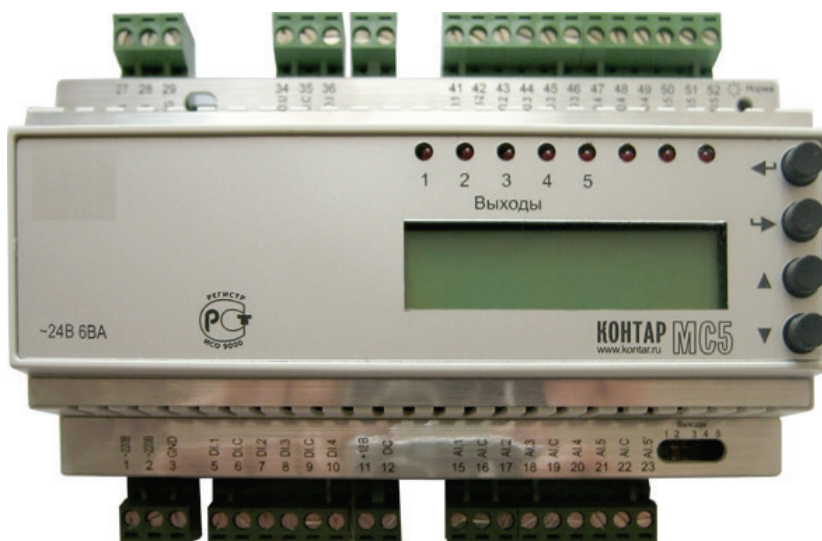


Рисунок 1 – Контроллер MC5

Контроллер MC5 выполняет следующие функции [1]:

- получение и обработка сигналов с датчиков;
- формирование сигналов управления для исполнительных механизмов и пусковых устройств в соответствии с записанной программой или командами оператора;
- вывод на операторскую станцию основной информации о ходе процесса;
- обеспечение связи с другими устройствами по интерфейсу RS-485.

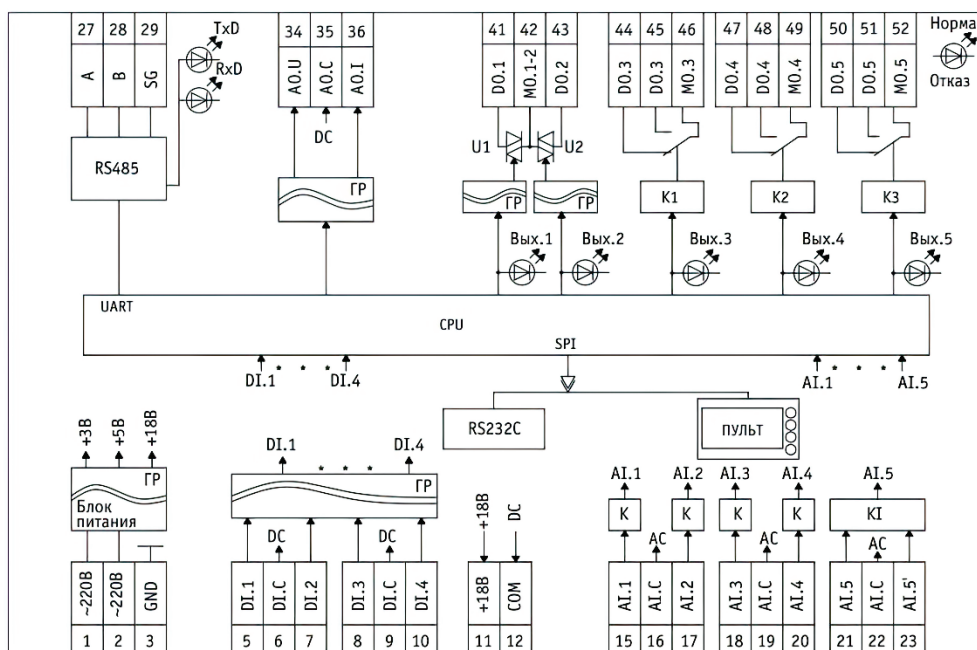
Основные технические характеристики контроллера MC5 представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Основные технические характеристики МС5

| Питание | |
|--------------------------------------|---|
| Напряжение | 220 В АС (допускается от 187 до 242 В) |
| Потребляемая мощность | не более 6 ВА |
| Память | |
| Постоянная память | 9.5 кБ (для загрузки алгоритмов) |
| Интерфейс | |
| Вид | RS-485 (57600 Бод) |
| Диагностика | |
| Светодиоды | статус контроллера Норма/Отказ; «RS485 – прием», «RS485 – передача»; 5 светодиодов состояния DO. |
| Степень защиты | |
| Степень защиты | IP20 |
| Дискретные входы | |
| Количество | 4 |
| Вид сигнала | «сухой» ключ |
| Ток через ключ | не менее 10 мА DC |
| Напряжение на ключе | не менее 35 В DC |
| Аналоговые входы | |
| Количество | 5 |
| Возможные подключаемые датчиков типы | <ul style="list-style-type: none"> – датчики постоянного напряжения (0 – 10 В, основная погрешность 0,3 %); – датчики постоянного тока (0 – 5 мА, основная погрешность 1,6 %; 0(4) – 20 мА, основная погрешность 0,5 %); – термометры сопротивления (1000 Н, 500 Н, 1000 П, 500 П, основная погрешность 1 °С); – термисторы (10 кОм, основная погрешность 0,7 °С; 3к Ом, основная погрешность 1 °С); – реостатные датчики (0,5 кОм, 1 кОм, основная погрешность 0,5 %) |
| Дискретные выходы | |
| Количество | 5 |
| Релейные выходы | количество: 3 |
| | тип: «сухой» контакт реле на переключение |
| | коммутируемый АС ток 0 – 3 А |
| | напряжение: до 250 В |

| | |
|------------------------------|--|
| Симисторные выходы | количество: 2 |
| | тип: «сухой» симисторный ключ |
| | коммутируемый АС ток 0,02 – 0,8 А |
| | напряжение: до 380 В |
| Аналоговые выходы | |
| Количество | 1 |
| Погрешность ЦАП | не более 2 % |
| Возможные диапазоны сигналов | <ul style="list-style-type: none"> – от 0(4) до 20 мА постоянного тока на нагрузку не более 0,5 кОм; – от 0 до 10 В постоянного тока на нагрузку не менее 2 кОм. |

Функциональная схема измерительного контроллера МС5 представлена на рисунке 2 [1].



Примечания:

Узлы, показанные пунктиром, являются переменными данными;

Гальванический разделитель;

АС – общая точка аналоговая;

ДС – общая точка дискретная;

Обозначения входов и выходов:

AI – аналоговый вход

AI.C – общая точка аналоговых входов

DI – дискретный вход

DI.C – общая точка дискретных входов

AO – аналоговый выход

AO.C – общая точка аналоговых выходов

DO – дискретный выход

MO – средняя точка

между парой дискретных выходов

Рисунок 2 – Функциональная схема контроллера МС5

Центральный процессор (CPU) представляет собой однокристалльный микроконтроллер С8051F311, включающий многоканальный аналого-цифровой преобразователь и поддерживающий несколько видов последовательных интерфейсов [1].

Аппаратное устройство ввода информации содержит гальванический разделитель (ГР) для дискретных входных сигналов DI.1...DI.4 и конфигураторы (К) для аналоговых входных сигналов AI.1...AI.5 [1].

Аппаратное устройство вывода информации включает в себя «сухие» ключи дискретных выходных сигналов D0.1...D0.5 и устройство преобразования аналоговых выходных сигналов A0.U, A0.I, с гальваническим разделителем ГР [1].

Блок питания формирует напряжения постоянного тока для питания всех узлов контроллера и внешних устройств (датчиков) [1].

Программа управления, загружаемая в МС5 по интерфейсу RS-232С, пишется в инструментальной программной системе (ИПС) КОНГРАФ, входящей в состав ПТК КОНТАР.

Наблюдать регулируемый контроллером МС5 процесс или управлять им можно с помощью программы КОНСОЛЬ, которая также входит в состав ПТК КОНТАР. Для этого также необходимо использовать интерфейс RS-232С.

1.2. Инструментальная программная система КОНГРАФ

ИПС КОНГРАФ (рис. 3 [2]) предназначена для разработки алгоритмов управления для приборов комплекса КОНТАР [2].

Для создания программы управления в КОНГРАФ используется графический язык программирования FBD (Function Block Diagram) стандарта МЭК 61131-3 [3].

В ИПС КОНГРАФ имеется большая библиотека блоков, которую можно наращивать. Кроме блоков отдельных функциональных узлов в библиотеке имеются готовые проекты управления типовыми объектами. Отсутствующий в библиотеке для написания программы блок можно создать самостоятельно и добавить в пользовательскую библиотеку [3].

Данная среда разработки позволяет разрабатывать программы не только для одного контроллера, но и для контроллеров и модулей, объединенных в единую сеть (1 Master и до 31 Slave-устройства) [3].

В том случае, если разрабатывается программа для сети приборов, протоколом обмена данными между ними будет протокол KontarBUS [3].

Если же программа создается для одного Slave-контроллера, то тогда будет использоваться протокол ВАСnetMS/TCP [3].

В ИПС КОНГРАФ можно отладить весь алгоритм или только его отдельную часть до загрузки в контроллер [3].

Очень удобной функцией в данной среде является симуляция. Благодаря ей разработчик программы может выявить и устранить явные ошибки, не используя при этом дополнительные приборы [3].

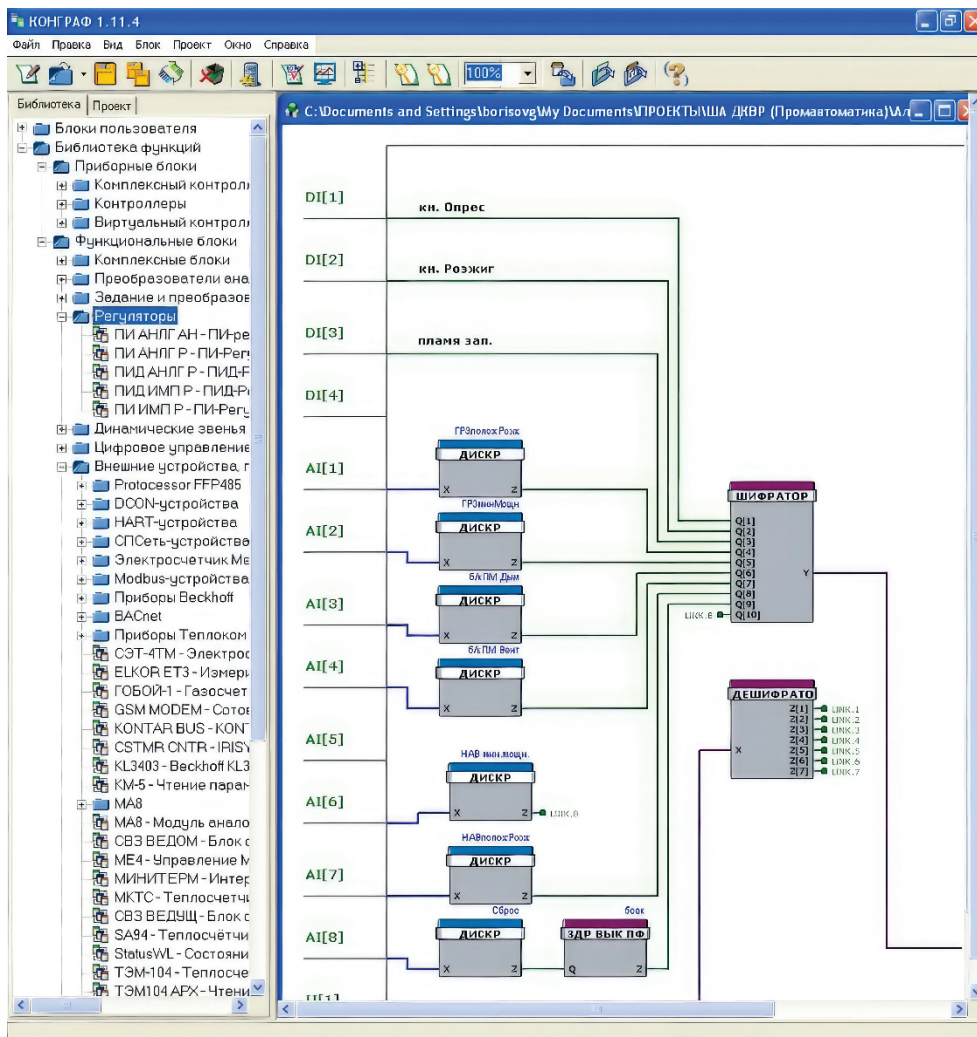


Рисунок 3 – ИПС КОНГРАФ

После разработки проекта проводится компиляция. Ее можно выполнить разными способами:

- если на компьютере установлено программное обеспечение Компилятор KeilC51, то компиляция производится локально;
- если имеется подключение к сети Интернет, то компиляция осуществляется удаленно с помощью компилятора на Интернет-сервере МЗТА (IP-адрес: 80.240.100.130) [3].

Результатом компиляции являются bin-файлы, в которых содержится исполняемый код. Эти файлы загружаются в сами приборы [3].

1.3. Программа КОНСОЛЬ

Программа КОНСОЛЬ представлена на рисунке 4 [4].

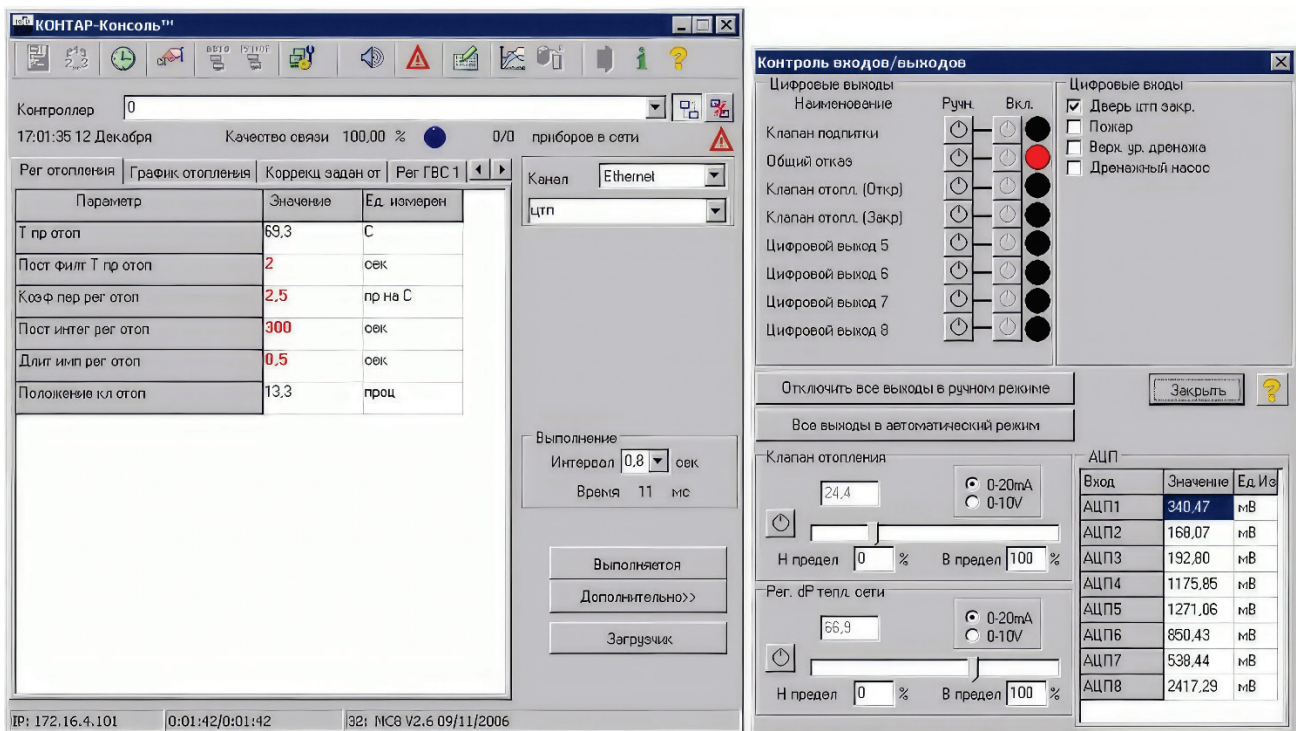


Рисунок 4 – Программа КОНСОЛЬ

КОНСОЛЬ – программа для настройки, мониторинга и управления контроллером или сетью контроллеров через различные коммуникационные интерфейсы с использованием персональных компьютеров (среда Windows) или смартфонов (среда MS Pocket PC) [1].

Программа консоль является бесплатным русскоязычным средством настройки комплекса КОНТАР.

С помощью программы КОНСОЛЬ выполняются следующие основные функции:

- контроль всех сигналов контроллера;
- задание установок для регулируемого процесса;
- переключение в режим ручного управления любого выхода для дальнейшего управления им;
- отображение графиков для заданных параметров;
- программирование действий контроллера с помощью планировщика, если он входит в функциональный алгоритм [4];
- контроль текущего времени и календарной даты [4];
- загрузка в прибор нового функционального алгоритма [4];
- определение состава сети;
- извлечение функционального алгоритма и сохранение его в файле для использования в других приборах [4].

1.4. Релейные регуляторы

Релейные (позиционные) регуляторы выдают сигнал, который обеспечивает перемещение регулирующего органа в одно из фиксированных положений (позиций). Их может быть два, три и более. По количеству позиций различают двух-, трех- и многопозиционные регуляторы. Двухпозиционные регуляторы обеспечивают хорошее качество регулирования для инерционных объектов с малым запаздыванием, не требуют настройки и просты в эксплуатации. Эти регуляторы представляют обычный и наиболее широко распространенный метод регулирования [5].

В простейшем случае двухпозиционный регулятор работает как переключатель. Например, мощность, подаваемая на нагреватель, имеет только два значения – максимальное и минимальное (нулевое), две позиции (отсюда и название регулятора – двухпозиционный) – нагреватель полностью включен или полностью выключен [5].

Структурная схема двухпозиционной системы регулирования приведена на рисунке 5 [5]. Для предотвращения «дребезга» управляющего выходного устройства (например, реле) и исполнительного механизма (например, нагревательного элемента) вблизи уставки SP , предусматривается гистерезис H (гистерезис – разность между значениями входного параметра, при которых происходит переключение выходного параметра в одну и в другую сторону).

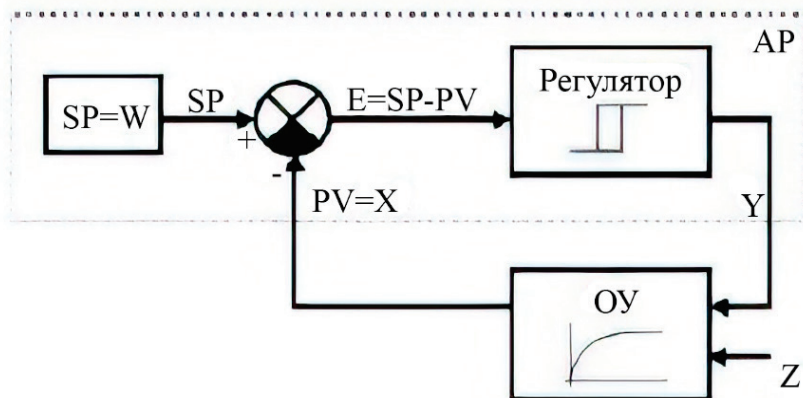


Рисунок 5 – Структурная схема двухпозиционной системы регулирования:

- AP – двухпозиционный регулятор; ОУ – объект управления;
- SP – уставка регулятора; E – рассогласование регулятора;
- PV=X – значение контролируемой величины (температуры);
- Y – управляющее воздействие; Z – возмущающее воздействие

Например, описание работы двухпозиционной системы регулирования температуры в помещении с помощью нагревателя может быть представлено следующим образом:

- нагреватель включен, пока температура в помещении ($X=PV$) не достигнет значения заданной точки SP ;

- управляющее воздействие с выхода регулятора Y (нагреватель) отключается, если регулируемая величина (температура) выше заданного значения SP .

Повторное включение нагревателя происходит после снижения температуры до значения $SP-H$, т. е. с учетом гистерезиса H переключающего элемента. Алгоритм двухпозиционных регуляторов определяется статической характеристикой: зависимостью выходного сигнала Y от входного X (рис. 6 [5]).

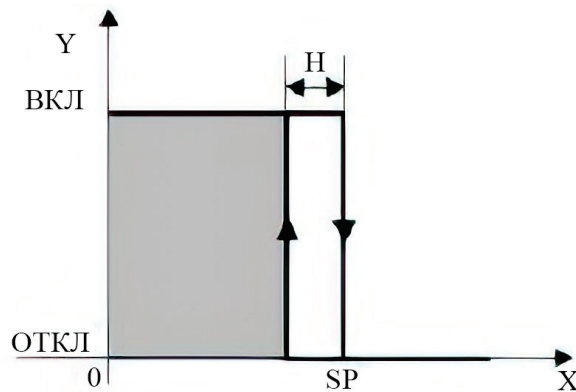


Рисунок 6 – Статическая характеристика двухпозиционной системы регулирования

Выходная величина Y равна максимальному воздействию – нагреватель включен: $Y = \max$ при $X < SP-H$, где H – значение гистерезиса.

Выходная величина Y равна минимальному воздействию – нагреватель выключен: $Y = 0$ при $X > SP$, где H – значение гистерезиса.

Зона гистерезиса. Ширина зоны гистерезиса в современных двухпозиционных регуляторах является единственным программируемым параметром настройки. Представление зоны гистерезиса описывается в руководстве по эксплуатации на соответствующий тип регулятора или систему регулирования [5].

Основные варианты представления зоны гистерезиса показаны на рисунке 7 [5].

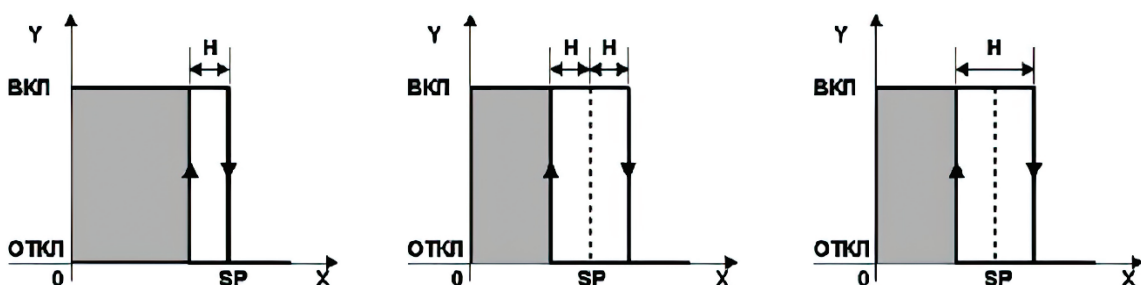


Рисунок 7 – Основные варианты представления зоны гистерезиса

Назначение гистерезиса H – предотвращение «дребезга» управляющего выходного устройства (например, реле) вблизи задания SP от слишком частого включения нагревателя.

Гистерезис (в некоторых типах регуляторов) может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Отрицательные значения гистерезиса используются в основном для упреждения или задержки включения (выключения) выходных устройств.

Например, включение выходного устройства по значению задания SP меньшем на величину гистерезиса H – включение с упреждением, или выключение выходного устройства по значению задания SP меньшем на величину гистерезиса H – выключение с задержкой.

Эти типы гистерезиса применяются для того, чтобы учесть инерционность объектов регулирования. Процесс двухпозиционного регулирования является автоколебательным – регулируемая величина как в переходном, так и в установившемся режиме периодически изменяется относительно заданного значения (рис. 8 [6]), т. е. регулируемая величина подвержена незатухающим колебаниям. Показателями автоколебательного режима являются амплитуда автоколебаний A_k и период автоколебаний T_k регулятора [5].

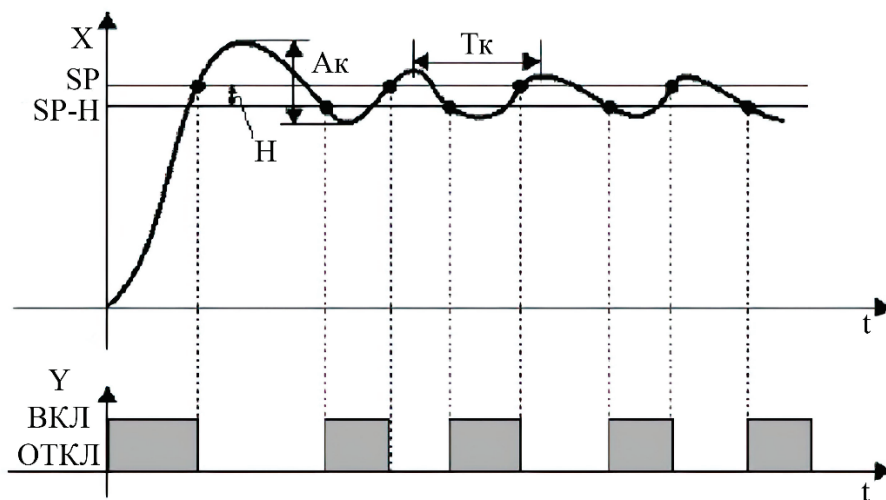


Рисунок 8 – Процесс регулирования с двухпозиционным законом регулирования

Точность регулирования технологического параметра на примере температуры зависит от величины гистерезиса. Чем меньше гистерезис, тем точнее регулирование, но тем чаще включается нагреватель и тем больше износ коммутационных элементов (например, реле).

Уменьшая гистерезис можно повысить качество регулирования до некоторого предела, определяемого параметрами объекта регулирования (тепловой инерцией, мощностью нагревателя, тепловой связью нагревателя и объекта и др.).

Виды и логика работы двухпозиционных регуляторов.

Двухпозиционные регуляторы по виду статической характеристики и логике работы управляющего устройства могут быть представлены в одном из следующих видов (рис. 9) [5].

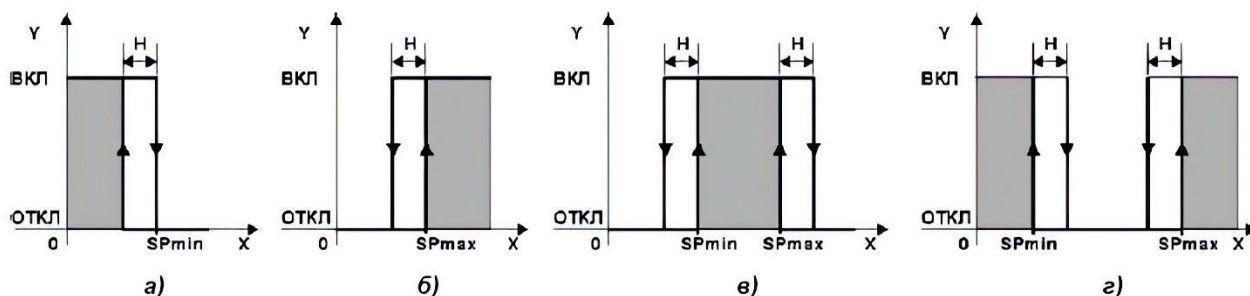


Рисунок 9 – Виды статических характеристик двухпозиционных регуляторов

Вид **а**: обычно применяется в различных устройствах управления нагревом – нагревательных приборах и т.п. Данный тип регулятора называется обратным регулятором. При использовании в системах сигнализации данная логика работы выходного устройства носит название «меньше установленного значения» или «меньше минимума».

Вид **б**: обычно применяется в различных процессах управления охлаждением – в системах вентиляции, в холодильных установках и т.п. Данный тип регулятора называется прямым регулятором. При использовании в системах сигнализации данная логика работы выходного устройства носит название «больше установленного значения» или «больше максимума».

Виды **в** и **г**: применяются для сигнализации выхода системы управления на рабочий режим. Эти регуляторы еще называют компараторами.

Вид **в** используется для сигнализации вхождения параметра в норму. Данная логика работы выходных устройств имеет наименование «в зоне установленных значений» или «в зоне минимум-максимум».

Вид **г** используется для сигнализации выхода параметра за определенные пределы. Данная логика работы выходных устройств имеет наименование «вне зоны установленных значений» или «вне зоны минимум-максимум» [5].

2. АНАЛОГОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

2.1. Аналоговый выходной сигнал

Аналоговый сигнал – это сигнал, порождаемый физическим процессом, параметры которого можно измерить в любой момент времени.

Аналоговый выходной сигнал имеет обозначение **АО**.

Классификация аналоговых сигналов следующая:

- напряжения (0...100мВ, 0...1В, 0...10В);
- ток (0...5мА, 0...10мА, 0...20мА, 4...20мА).

2.2. Твердотельное реле

Твердотельное реле (ТТР, Solid State Relay, SSR) – электронное устройство, являющееся типом реле без механических движущихся частей, служащее для включения и выключения высокоомощностной цепи с помощью низких напряжений, подаваемых на клеммы управления. ТТР содержит датчик, который реагирует на вход (управляющий сигнал) и твердотельную электронику, включающую высокоомощностную цепь. Этот тип реле может использоваться в сетях постоянного и переменного тока. Устройство применяется для тех же функций, что и обычное электромагнитное (электромеханическое) реле, но не содержит движущихся частей.

Серийные твердотельные реле используют технологии полупроводниковых устройств, таких как тиристоры и транзисторы, чтобы переключать токи до сотен ампер. ТТР имеют более высокую скорость переключения, чем электромеханические реле и имеют полную гальваническую развязку. Твердотельные реле менее приспособлены к выдерживанию кратковременных перегрузок (превышению предельно допустимых токов и напряжений), чем их электромеханические аналоги, и имеют чуть большее сопротивление в замкнутом состоянии.

Принцип действия. Работа ТТР обусловлена взаимодействием двух сигналов:

- управляющего;
- коммутирующего.

То есть между электрическими цепями отсутствует непосредственный контакт, но трансфер информации и энергии между ними производится благодаря гальванической или оптической развязке.

Оптоизолятор – один из ключевых элементов в принципе работы прибора. В качестве оптоизолятора теплового реле выступают светодиод и фотоприемник, называемые также оптопарой. Такая оптическая развязка применима и для постоянного, и для переменного тока. Основная ее функция – изоляция входа от выхода. Для гальванической развязки используется оптрон.

Когда через светодиод, расположенный у входной секции, проходит электричество, он загорается. Далее через зазор свет поступает на

фотоприемник, в роли которого выступают симистор или фоточувствительный транзистор.

Таким образом, в твердотельном реле, рассчитанном на разное напряжение (220 В в том числе), действует следующий принцип работы: происходит замыкание или размыкание контактных клемм [10].

Отличие от электромагнитных реле. Помимо монолитной конструкции, твердотельные реле отличаются от электромагнитных принципом работы. Вторая разновидность имеет катушку и подвижную контактную группу.

Такая комплектация позволяет замыкать контакты за счет протекания тока через катушку и притягивание якоря с контактной группой. В конструкции твердотельного реле подобных элементов нет. В зависимости от разновидности устройства и сферы применения замыкание контактных клемм происходит за счет полупроводниковых ключей.

Еще одной особенностью, отличающей твердотельные реле от электромагнитных, можно обозначить отсутствие в конструкции подвижных деталей. Благодаря этому приборы не подвергаются механическому износу, что продлевает срок их эксплуатации [10].

Применение. Модификация и схема коммутаторов подбирается на основании потребностей той электрической сети, для которой они необходимы. Сфера применения ТТР обширна – устройство может быть установлено для:

- управления электродвигателями;
- регулирования температурных показателей в нагревательных элементах;
- контроля работы трансформаторов;
- управления уровнем освещенности;
- контроля включения осветительных приборов;
- автоматизации промышленных процессов;
- регулировки датчиков движения;
- установки в электронике автомобилей.

Помимо этого, твердотельные реле разных типов благодаря принципу их работы и подходящей схеме управления часто выступают в роли электронных ключей. Особенно это актуально для силовых, слаботочных установок, коммутаторов станков, в работе которых большое значение имеет мгновенное срабатывание.

Также ТТР можно встретить в комплектации бытовой техники: холодильников, стиральных машин, нагревателей, чайников и т.д [10].

2.3. Аналоговый регулятор

Для регулирования объектами управления могут использоваться не только двухпозиционные (релейные) регуляторы, но и **аналоговые**. Последние реализуют типовые законы регулирования, названия которых соответствуют названиям типовых звеньев. Аналоговые регуляторы, как правило, являются автоматическими.

Автоматическим регулятором называют устройство, предназначенное для поддержания управляемой величины на заданном уровне или изменения ее в соответствии с требуемым законом регулирования [5].

Чтобы понять принцип действия аналогового регулятора, следует обратиться к типовой структурной схеме системы автоматического регулирования (САР).

Система автоматического регулирования – совокупность объекта управления и автоматического регулятора, взаимодействующих между собой в соответствии с алгоритмом управления [5].

На рисунке 10 представлена функциональная схема типовой САР.

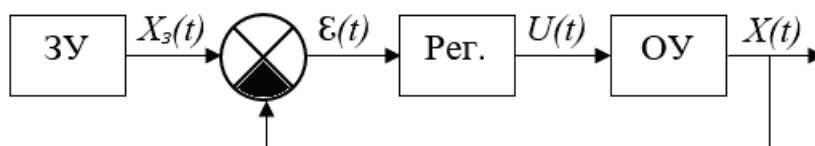


Рисунок 10 – Функциональная схема типовой САР:

ЗУ – задающее устройство; Рег.– регулятор; ОУ – объект управления;
Д – датчик; $X_з(t)$ – заданное значение параметра; $X(t)$ – выходное значение параметра; ε – ошибка регулирования (рассогласование);
 $U(t)$ – управляющее воздействие

Аналоговый регулятор воспринимает разность между фактическим и заданным значениями регулируемой величины и преобразует ее в управляющее воздействие на регулирующей орган.

Управляющее воздействие формируется в соответствии с заложенным в регулятор законом регулирования.

Для регулирования объектами управления, как правило, используют типовые регуляторы, названия которых соответствуют названиям типовых звеньев.

Регуляторы непрерывного действия – это регуляторы, у которых представление входных и выходных величин, а также выполнение всех вычислительных операций осуществляется непрерывно во времени.

Законом регулирования является зависимость между управляющим воздействием и сигналом рассогласования.

Наиболее распространенные регуляторы непрерывного действия подразделяются на:

- пропорциональные или П-регуляторы;
- интегральные или И-регуляторы;
- пропорционально-интегральные или ПИ-регуляторы;
- пропорционально-дифференциальные или ПД-регуляторы;
- пропорционально-интегрально-дифференциальные или ПИД-регуляторы.

Каждый из перечисленных видов регуляторов является частным случаем ПИД-регулятора.

Закон ПИД-регулирования описывается следующей формулой (1):

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (1)$$

где $u(t)$ – функция закона ПИД-регулирования;

P – пропорциональная составляющая;

I – интегральная составляющая;

D – дифференциальная составляющая;

$e(t)$ – значение текущего рассогласования;

K_p – пропорциональный коэффициент;

K_i – интегральный коэффициент;

K_d – дифференциальный коэффициент.

Настройка ПИД-регулятора. Для использования в программах данную формулу приводят к виду ее дискретной реализации (2 – 5):

$$u(t) = P(t) + I(t) + D(t); \quad (2)$$

$$P(t) = K_p \cdot e(t); \quad (3)$$

$$I(t) = I(t - 1) + K_i \cdot e(t); \quad (4)$$

$$D(t) = K_d \cdot (e(t) - e(t - 1)). \quad (5)$$

Настройку ПИД-регулятора всегда следует начинать с нахождения пропорциональной составляющей.

Пропорциональная составляющая вырабатывает выходной сигнал, противодействующий отклонению регулируемой величины от заданного значения, наблюдаемому в данный момент времени. Он тем больше, чем больше это отклонение. Если входной сигнал равен заданному значению, то выходной равен нулю.

Однако при использовании только пропорционального регулятора значение регулируемой величины никогда не стабилизируется на заданном значении. Существует так называемая статическая ошибка, которая равна такому отклонению регулируемой величины, которое обеспечивает выходной сигнал, стабилизирующий выходную величину именно на этом значении. Например, в регуляторе температуры выходной сигнал (мощность нагревателя) постепенно уменьшается при приближении температуры к заданной, и система стабилизируется при мощности, равной тепловым потерям. Температура не может достичь заданного значения, так как в этом случае мощность нагревателя станет равна нулю, и он начнёт остывать.

Чем больше коэффициент пропорциональности между входным и выходным сигналом (коэффициент усиления), тем меньше статическая ошибка, однако при слишком большом коэффициенте усиления при наличии задержек (запаздывания) в системе могут начаться автоколебания, а при дальнейшем увеличении коэффициента система может потерять устойчивость.

Следующей следует находить интегральную составляющую.

Ее используют для устранения статической ошибки. Она позволяет регулятору со временем учесть статическую ошибку.

Если система не испытывает внешних возмущений, то через некоторое время регулируемая величина стабилизируется на заданном значении, сигнал пропорциональной составляющей будет равен нулю, а выходной сигнал будет полностью обеспечиваться интегральной составляющей. Тем не менее, интегральная составляющая также может приводить к автоколебаниям при неправильном выборе её коэффициента.

И наконец, если требования к качеству регулирования не удовлетворяются с помощью уже подобранных пропорциональной и интегральной составляющих, находится дифференциальная составляющая.

Дифференцирующая составляющая пропорциональна темпу изменения отклонения регулируемой величины и предназначена для противодействия отклонениям от целевого значения, которые прогнозируются в будущем. Отклонения могут быть вызваны внешними возмущениями или запаздыванием воздействия регулятора на систему.

Оценка качества переходного процесса

Качество переходного процесса оценивается по его графику (рис. 11).

На графике переходного процесса отмечены:

h_{max} – наибольшее значение регулируемого параметра;

$h_{уст}$ – установившееся значение регулируемого параметра;

Δ – допустимая ошибка регулирования;

T – период колебаний;

t_n – время нарастания;

t_{max} – время первого максимума;

t_p – время переходного процесса.

С помощью h_{max} и $h_{уст}$ вычисляется перерегулирование σ (6):

$$\sigma > \frac{h_{max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

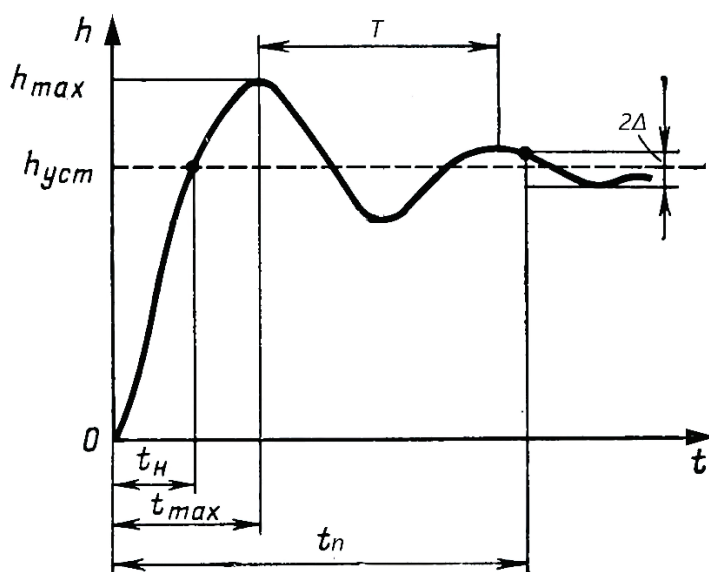


Рисунок 11 – Оценка качества переходного процесса

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа должна содержать следующие обязательные части:

- 1) титульный лист;
- 2) содержание;
- 3) ход выполнения работы со скриншотами;
- 4) заключение / выводы;
- 5) список литературы (в т. ч. со ссылкой на данное учебно-методическое пособие).

3.1. Описание стенда для выполнения лабораторных работ

Разработанная на кафедре «Информационно-измерительных технологий и систем управления» лабораторная установка приточно-вытяжной вентиляции (рис. 12) предназначена для изучения студентами принципов работы систем вентиляции и исследования систем автоматического управления приточно-вытяжной вентиляции.

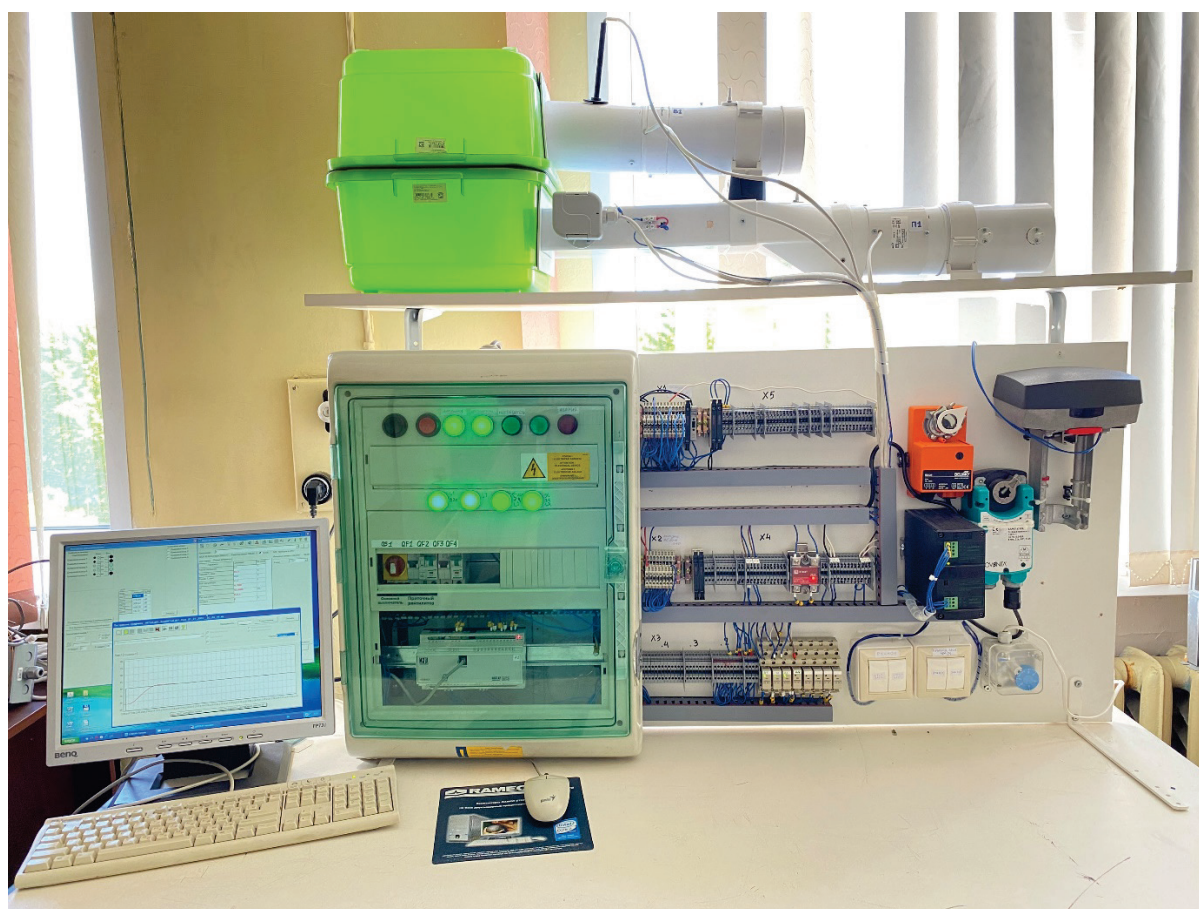


Рисунок 12 – Лабораторная установка приточно-вытяжной вентиляции

Стенд позволяет ознакомиться с составом вентиляционных систем, узнать

назначение и принцип действия их компонентов.

На лабораторной установке имеется возможность получать переходные характеристики по температуре и использовать их для разработки математических моделей объекта, а затем на основе полученных математических моделей и выбранного закона регулирования производить синтез систем автоматического регулирования (САР), позволяющих поддерживать температуру воздуха в заданных пределах. Кроме того, с помощью установки приточно-вытяжной вентиляции студенты научатся разрабатывать и отлаживать программы управления для систем вентиляции.

3.1.1. Состав лабораторной установки

Данный стенд закреплен на столе и включает в себя следующее оборудование:

1. Приточно-вытяжную вентиляционную установку, в состав которой входят:
 - вентиляторы;
 - электронагреватель;
 - канальные датчики температуры;
 - биметаллический термостат.
2. Шкаф управления, в котором установлены:
 - контроллер MC5;
 - выключатель нагрузки;
 - автоматические выключатели;
 - сигнальные индикаторы;
 - кнопки включения и выключения вентиляционной установки;
 - трансформатор переменного тока AC220/24 В.
3. Клеммные колодки.
4. Привод с шаговым управлением наружных заслонок.
5. Привод заслонок с возвратной пружиной.
6. Реле управления оборудованием.
7. Твердотельное реле напряжения.
8. Контроллер напряжения (блок питания 24 В).
9. Дифференциальные реле давления.
10. Выключатели для управления в ручном режиме и имитации аварий.
11. Персональный компьютер, с установленными на нем программными средами:
 - КОНСОЛЬ;
 - КОНГРАФ.

Приточно-вытяжная система разработанного стенда может работать как в ручном, так и в автоматическом режиме управления.

3.1.2. Функциональная схема автоматизации

Одним из важных этапов разработки любой автоматизированной системы является создание ее функциональной схемы автоматизации (ФСА). ФСА

представляет собой основной технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации [7].

ФСА для лабораторной установки системы приточно-вытяжной вентиляции разрабатывалась согласно ГОСТ 21.208 – 2013 «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах» [8] и представлена в Приложении 1.

Список функций лабораторной установки, отмеченных на данной ФСА, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Список функций лабораторной установки

| Позиция | Назначение |
|--------------------------|---|
| ZIA 1.1, ZIA 1.4 | Индикация на рабочем месте оператора состояния (открыто/закрыто) воздушной заслонки на вытяжке и притоке соответственно |
| ZIA 1.2, ZIA 1.5 | Индикация по месту состояния (открыто/закрыто) воздушной заслонки на притоке и вытяжке соответственно |
| HS 1.3 | Ручное управление приводами воздушных заслонок (открыть/закрыть) |
| YA 2.1, YA 2.4 | Индикация на рабочем месте оператора состояния (включено/выключено) приточного вентилятора П1 и вытяжного вентилятора В1 соответственно |
| YA 2.2, YA 2.5 | Индикация по месту состояния (включено/выключено) приточного вентилятора П1 и вытяжного вентилятора В1 соответственно |
| HS 2.3 | Ручное управление вентиляторами П1 и В1 (включить/выключить) |
| YS 3 | Блокировка включения электронагревателя по месту |
| TS 4, TS 5.2, TS 6 | Блокировка работы электронагревателя при температуре больше или равной 110 °С, значения температуры, заданного с операторской станции, 70 °С соответственно |
| TIRC 5.1 | Автоматическое регулирование и контроль на операторской станции температуры приточного воздуха |
| TIR 7 | Контроль на операторской станции температуры вытяжного воздуха |
| HS 8 | Включение вентиляционной установки по месту |
| HS 9 | Выключение вентиляционной установки по месту |

3.1.3. Электрическая принципиальная схема подключений и соединений

Не менее важным этапом разработки автоматизированной системы является составление принципиальных электрических схем подключений и

соединений. Такая схема была разработана для шкафа управления данной лабораторной установки.

При составлении принципиальной электрической схемы подключений и соединений шкафа управления приточно-вытяжной установкой (Приложение 2) использовались стандарты: ГОСТ 2.701-2008 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению» [9] и ГОСТ 2.702 – 2011 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем» [6].

Питание на вентиляционную установку подается через выключатель нагрузки QS1 и автоматический выключатель QF1. Питание на воздушную заслонку на притоке, приточный вентилятор П1, вытяжной вентилятор В1 и электронагреватель подается с помощью автоматического выключателя QF2. Трансформатор переменного тока АС 220/24В и блок питания 24В DC включаются с помощью автоматических выключателей QF3 и QF4 соответственно.

Воздушная заслонка притока, а также вентиляторы П1 и В1, могут управляться с помощью кнопок «Руч. запуск засл. М2» и «Руч. запуск вент-ов» соответственно. Воздушная заслонка на вытяжке управляется с помощью кнопок «Откр.» и «Закр.».

Электронагреватель может управляться с помощью твердотельного реле KR1 либо реле К4. Однако следует обратить внимание, что электронагреватель можно включить только в том случае, если работают вентиляторы. Эта защитная функция обеспечивается работой реле К3.

Контроллер КОНТАР МС5 (позиция А1) подключен к питанию переменного тока 220 В. На его входы подаются сигналы с датчиков температуры. К выходам контроллера подключено управляемое им оборудование. На схеме представлены только используемые входы/выходы контроллера.

3.2. Лабораторная работа №1. Релейное регулирование

Цель работы: ознакомление с принципом действия релейного регулятора с использованием стенда приточно-вытяжной вентиляции на базе контроллера МС5.

Задание:

Разработать программу системы управления лабораторной установкой приточно-вытяжной вентиляции.

Программа должна предусматривать выполнение следующих функций:

- включение и выключение приточно-вытяжной установки при нажатии кнопок управления на стенде «Пуск» и «Стоп» соответственно;
- регулирование температуры приточного воздуха с помощью двухпозиционного регулятора;
- отображение на экране оператора информации о текущих температурах притока и вытяжки воздуха;

- задание с экрана оператора требуемой температуры приточного воздуха;
- задание с экрана оператора границ срабатывания двухпозиционного регулятора;
- задание с экрана оператора предельной температуры нагрева воздуха в приточном канале;
- сигнализация аварии перегрева с помощью индикатора «Авария» шкафа управления лабораторной установкой;
- блокировка включения электронагревателя.

В программе необходимо использовать переменные, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Необходимые переменные для создаваемой программы

| Сигнал | Комментарий | Описание |
|--------|--------------------------|--|
| AI1 | T прит | Температура приточного воздуха |
| AI2 | T вытяж | Температура вытяжного воздуха |
| DI1 | Пуск | Запуск системы вентиляции |
| DI2 | Стоп | Останов системы вентиляции |
| DO2 | Авария | Авария «Перегрев электронагревателя» |
| DO3 | Заслонка | Управление приводом заслонки |
| DO4 | Вентилятор | Управление двигателями вентиляторов |
| DO5 | Электронагреватель (ТЭН) | Управление включением/выключением электронагревателя |

При создании программы рекомендуется пользоваться принципиальной электрической схемой подключений и соединений для лабораторной установки приточно-вытяжной вентиляции, а также ее ФСА (Приложение 1).

Используемые в работе элементы лабораторной установки

На рисунке 13 представлена лабораторная установка системы приточно-вытяжной вентиляции с отмеченными элементами, используемыми в лабораторной работе №3:

- 1 – контроллер МС5;
- 2 – компьютер с программами КОНГРАФ и КОНСОЛЬ;
- 3 – привод заслонки;
- 4 – приточный и вытяжной вентилятор;
- 5 – датчик температуры приточного воздуха;
- 6 – датчик температуры вытяжного воздуха;
- 7 – кнопки управления запуска и останова лабораторной установки «Пуск» и «Стоп»;
- 8 – индикатор аварии;
- 9 – выключатель нагрузки QS1 и автоматические выключатели QF1 – QF4 (обозначения, принятые на электронных схемах).

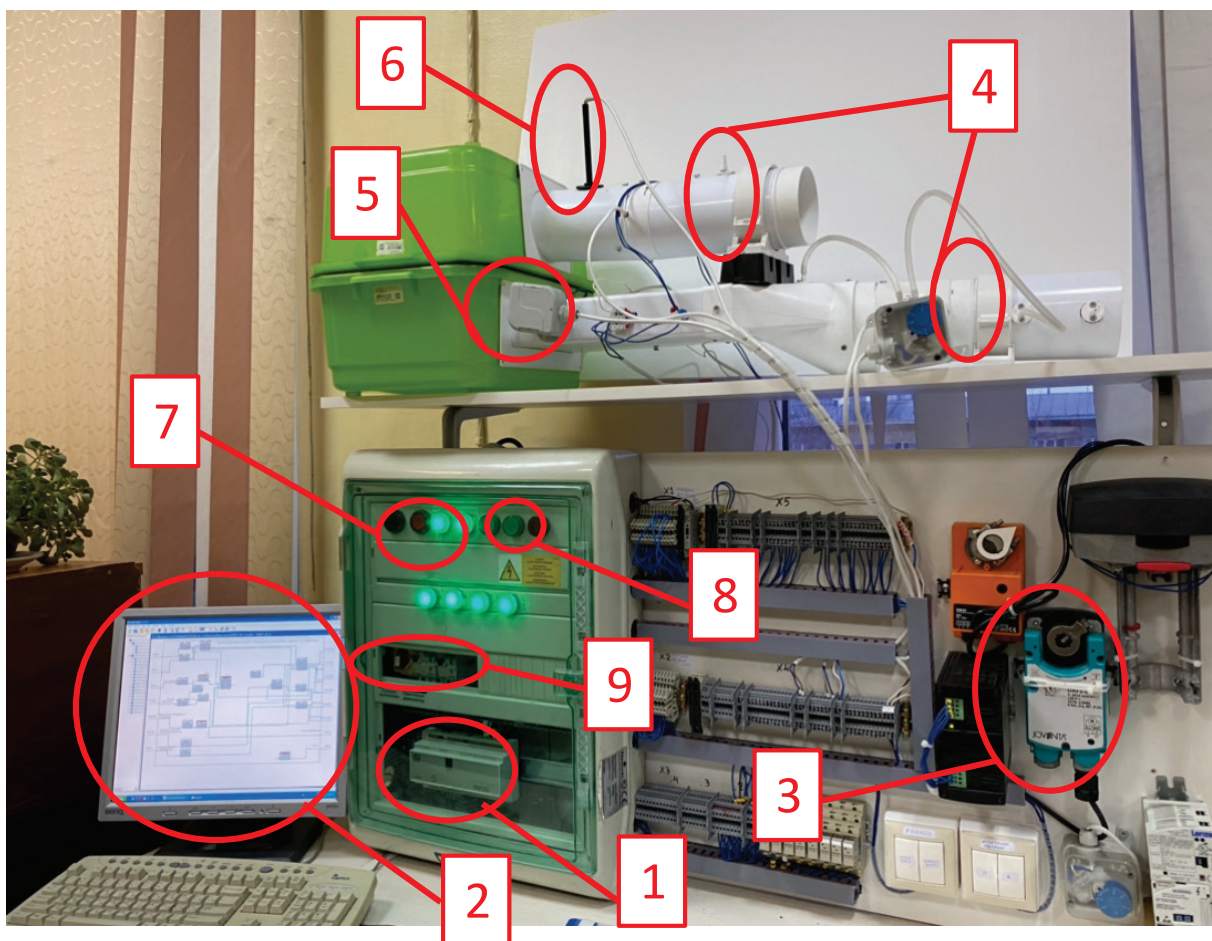


Рисунок 13 – Элементы установки, используемые в лабораторных работах

Ход работы

Включить компьютер и запустить систему программирования КОНГРАФ. Затем нажать меню «Файл» и выбрать пункт «Создать» (рис. 14).

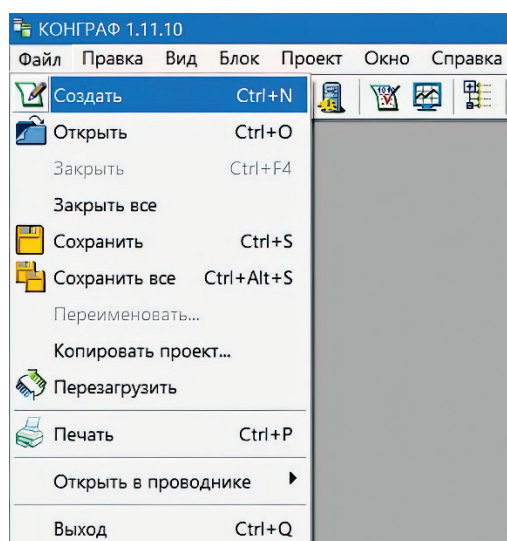


Рисунок 14 – Создание проекта в КОНГРАФ

После этого появится окно создания нового проекта (рис. 15). В нем необходимо задать осмысленное имя проекта и тип протокола обмена данными Kontar.

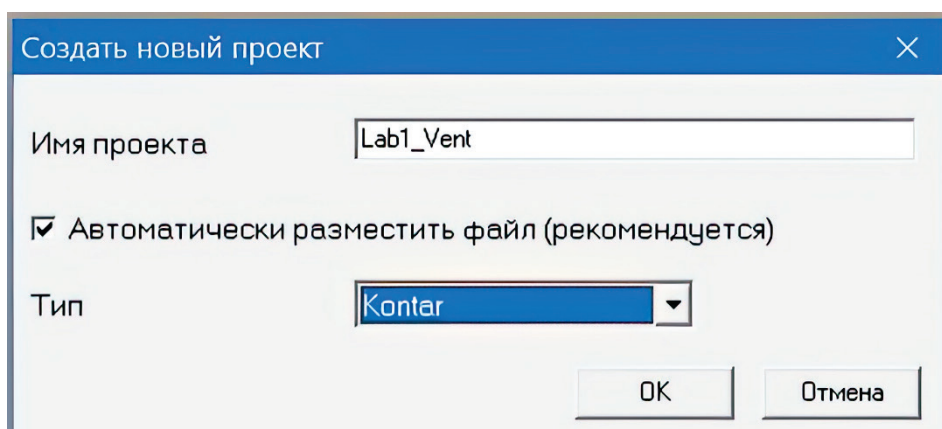


Рисунок 15 – Задание имени проекта и выбор типа устройства

Перейти в меню «Вид», выбрать пункт «Параметры рабочей области» и в открывшемся окне задать размеры области (рис. 16). Это необходимо, чтобы наиболее полно использовать рабочее пространство экрана.

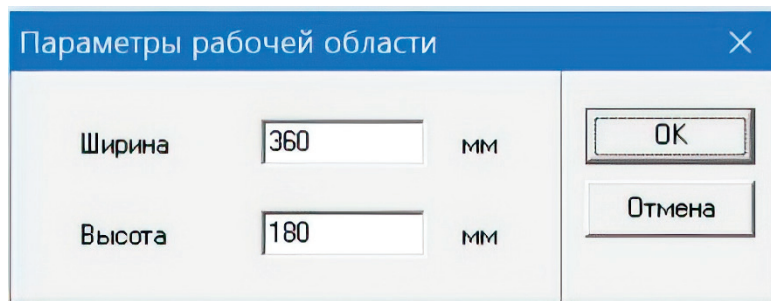


Рисунок 16 – Задание размеров рабочей области

После того, как вся подготовительная работа выполнена, следует приступить непосредственно к разработке программы.

Сначала в окне библиотеки выбрать каталог «Контроллеры» и перетащить из него на рабочее поле блок MC5 – «Контроллер MC5 (MC6)» (рис. 17).

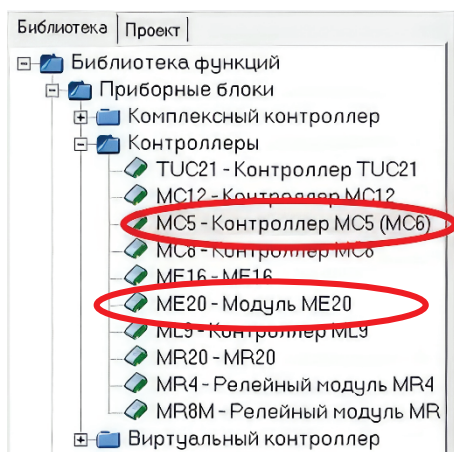


Рисунок 17 – Выбор блока контроллера MC5

В результате перетаскивания данного блока откроется окно создания нового прибора (рис. 18). В нем следует задать имя контроллеру (в данном случае удобно дать ему имя, совпадающее с моделью контроллера (MC5), и выбрать тип контроллера (MC5).

После этого на рабочем поле появится блок контроллера (рис. 19).

Далее следует задать все необходимые настройки для данного блока. Для этого необходимо кликнуть по нему правой кнопкой мыши и в открывшемся списке выбрать пункт «Свойства» (рис. 20).

После этого откроется окно свойств функционального блока MC5.

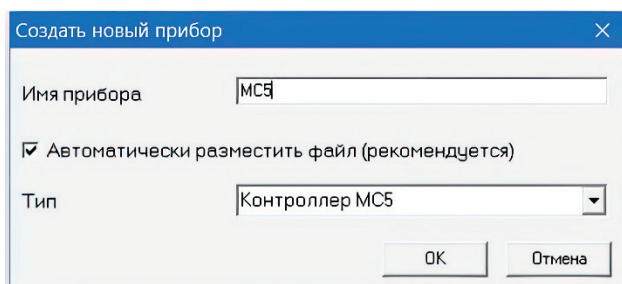


Рисунок 18 – Окно создания нового прибора

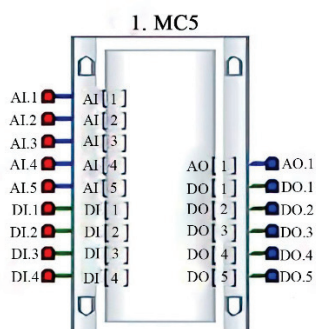


Рисунок 19 – Блок контроллера

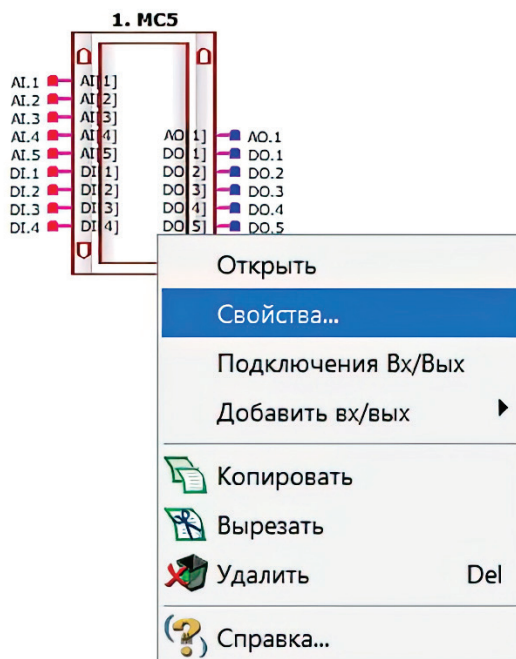


Рисунок 20 – Вызов свойств блока контроллера

В разделе свойств «Блок» следует задать тип контроллера Master (рис. 21).

В разделе «Входы/Выходы» согласно таблице 3 необходимо удалить лишние входы и выходы с помощью редактирования их числа в верхней части окна, или с помощью знака « – » в нижней (рис. 22).

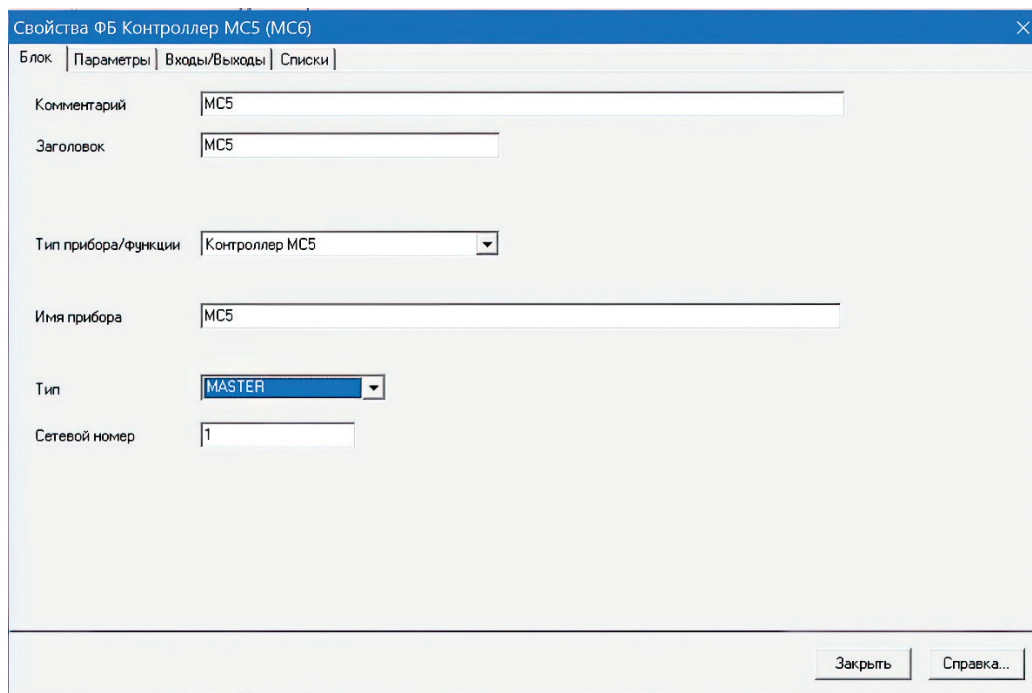


Рисунок 21 – Настройки контроллера в разделе «Блок»

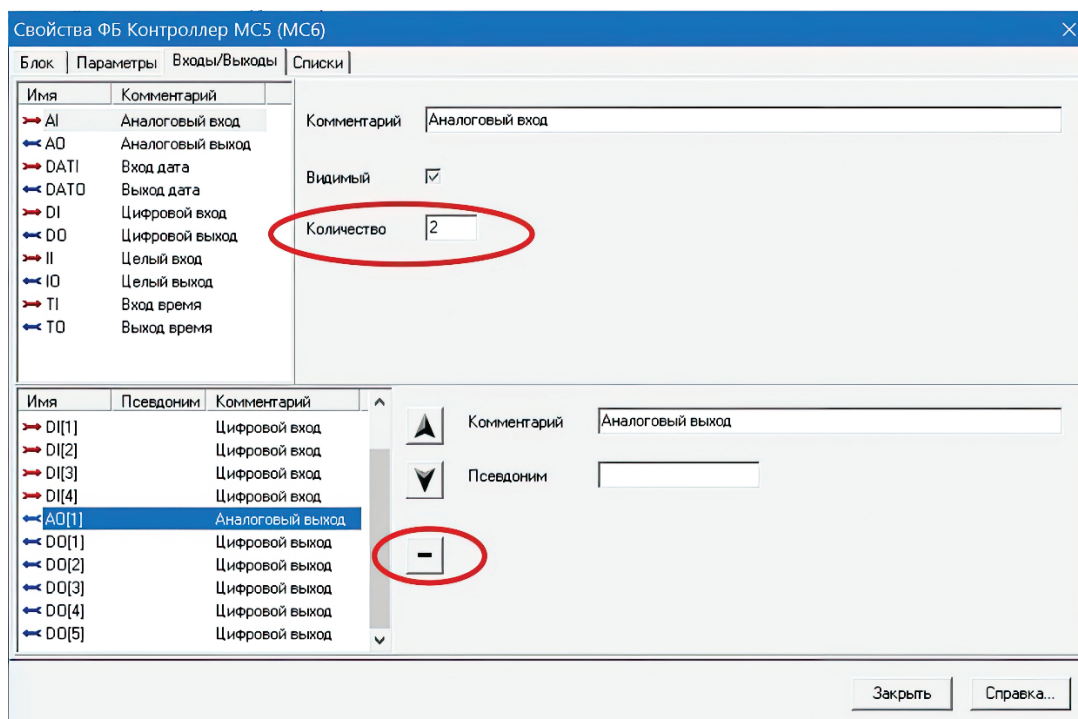


Рисунок 22 – Удаление неиспользуемых входов/выходов контроллера

После того, как все лишние входы и выходы будут удалены, можно закрыть данное окно. Функциональный блок контроллера MC5 на рабочем поле изменит свой вид, как показано на рисунке 23.

Далее следует перейти к написанию программы. Для этого необходимо дважды кликнуть мышью по функциональному блоку MC5. В результате откроется новая рабочая область, с левой и правой стороны которой располагаются заданные входы и выходы контроллера MC5 (рис. 24). В данной рабочей области так же следует задать подходящие для монитора компьютера размеры.

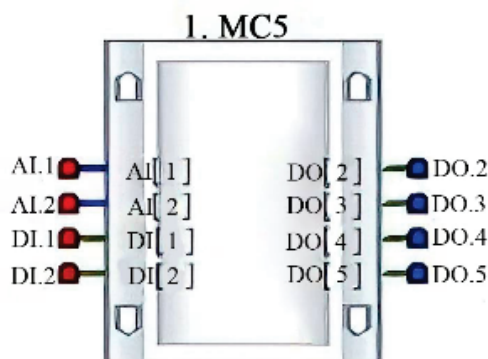


Рисунок 23 – Вид функционального блока MC5 после настройки

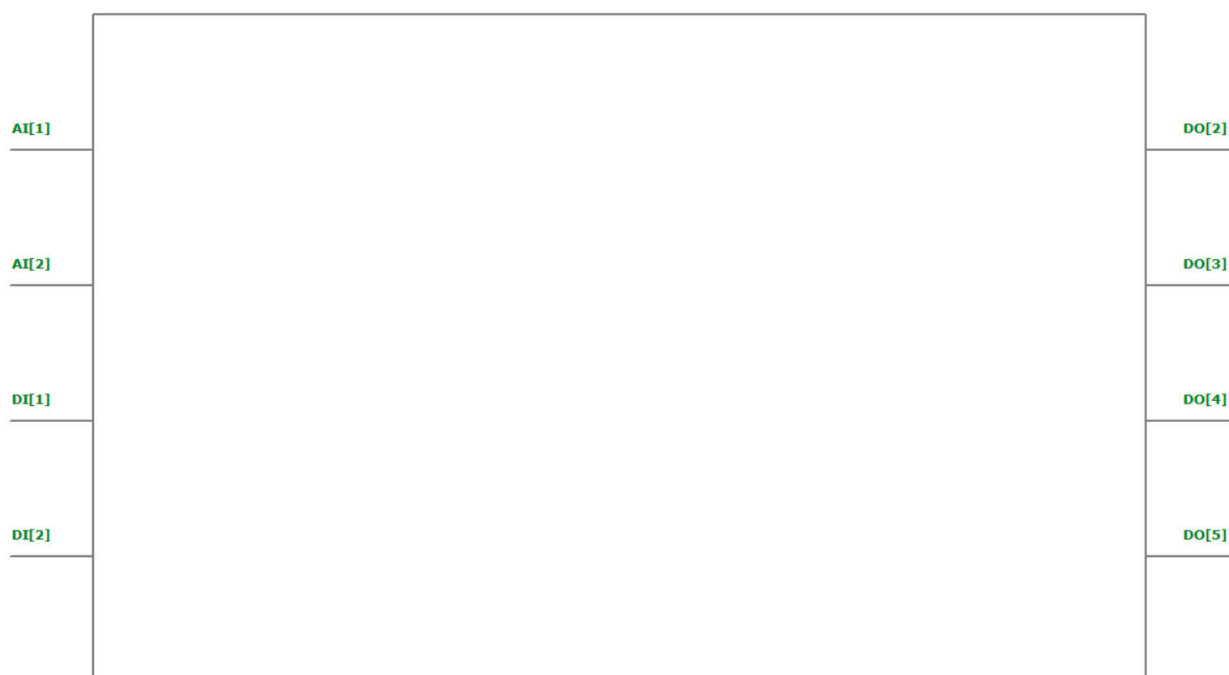


Рисунок 24 – Рабочая область для написания основной логики программы

Для большей наглядности и читаемости программы следует у каждого входа/выхода написать комментарий, поясняющий его основную функцию. Например, вход AI1 согласно таблице 3 используется для получения сигнала с датчика температуры приточного воздуха, поэтому ему можно приписать комментарий «Т_прит».

Чтобы создать комментарий, необходимо в месте его дальнейшего расположения кликнуть правой кнопкой мыши, выбрать в появившемся списке пункт «Добавить комментарий» (рис. 25) и затем ввести текст комментария.

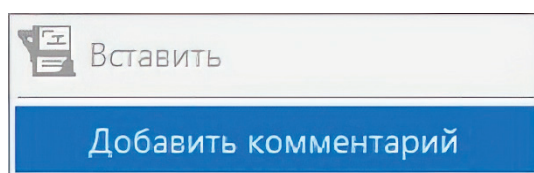


Рисунок 25 – Добавление комментария

На рисунке 26 представлен результат написания комментариев ко всем входам и выходам контроллера.

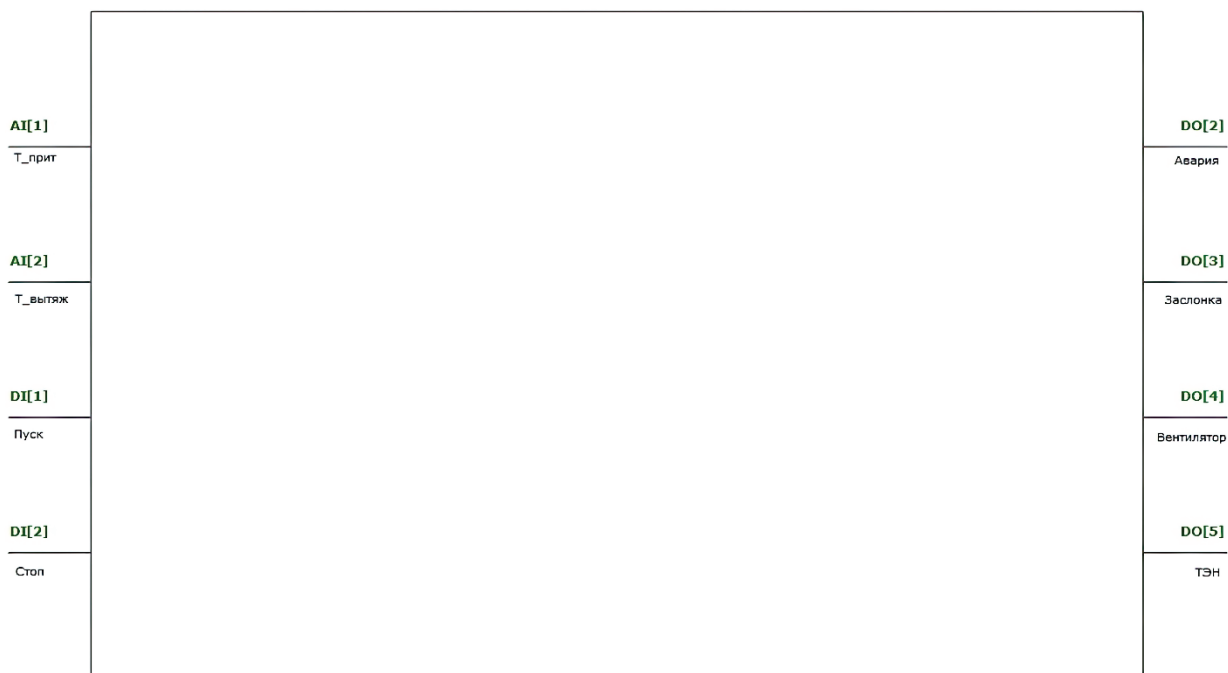


Рисунок 26 – Комментарии к входам/выходам, используемых в программе

Теперь следует приступить к расположению функциональных блоков элементов программы управления системой вентиляции лабораторной установки.

Следует помнить рекомендации по расположению элементов в программе, представленные на рисунке 27 [11].

Начать можно с размещения блоков, благодаря которым:

- при нажатии кнопки «Пуск» будет открываться заслонка, а через 15 секунд после этого будут запускаться вентиляторы;
- при нажатии кнопки «Стоп» будут выключаться вентиляторы, а через 15 секунд после этого будет закрываться заслонка.

Для пуска и останова принято использовать блоки «RS-триггеров». В данном случае следует выбрать блок «RS-триггера» с приоритетом Reset (рис. 28). Принцип действия триггера с приоритетом Reset заключается в следующем. По переднему фронту сигнала на входе S (Set, включить) на выходе Q блока появится логическая «1», т. е. выход включается. По переднему фронту сигнала на входе R (Reset, сбросить) на выходе Q блока появится логический «0», т. е. выход выключается. При одновременном поступлении сигналов на входы R и S приоритетным является сигнал входа R.

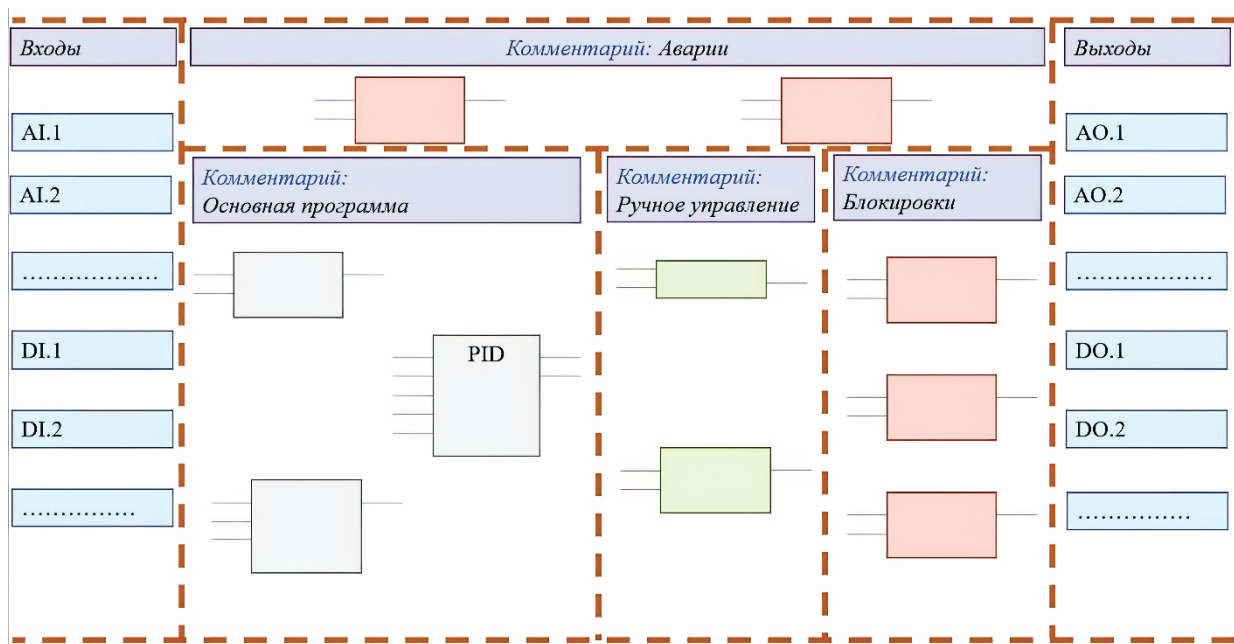


Рисунок 27 – Рекомендации расположения элементов в программе

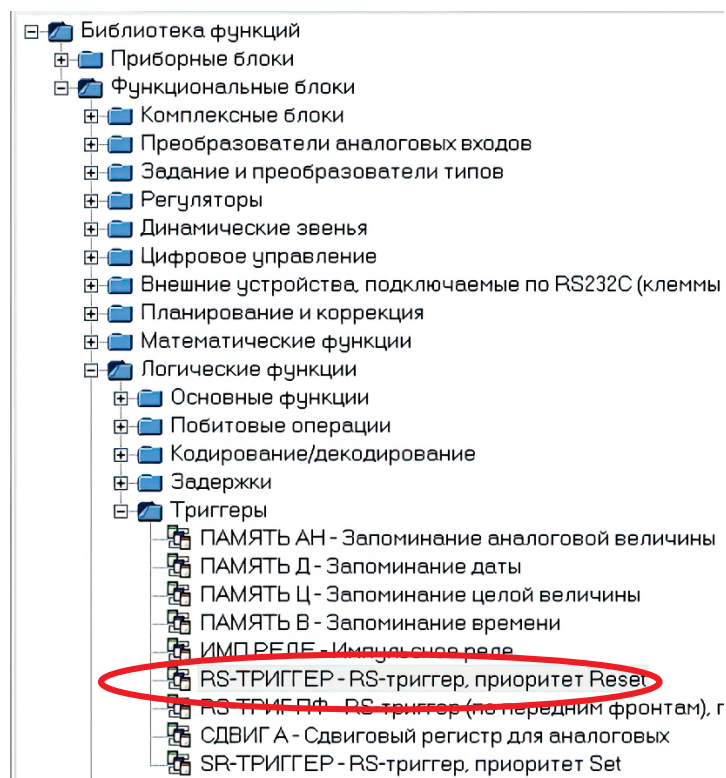


Рисунок 28 – Блок «RS-триггера» с приоритетом Reset в библиотеке

Этот блок необходимо перетащить на рабочую область, расположить напротив входов DI1 и DI2 и подключить их к входам блока триггера (рис. 29).

Далее требуется задать настройки для данного блока (рис. 30). Для этого необходимо дважды кликнуть по нему мышью. В открывшемся окне в разделе Блок задать заголовок «Пуск/Стоп», который будет отражать на рабочей области

предназначение данного блока. В разделе «Параметры» для каждого из параметров установить флажок у «Списка симулятора» и задать имя (S Уст, R Уст и Z Уст соответственно).

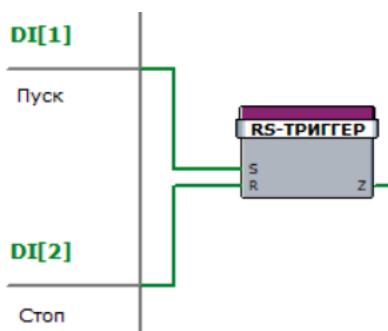


Рисунок 29 – Расположение и подключение блока «RS-триггера»

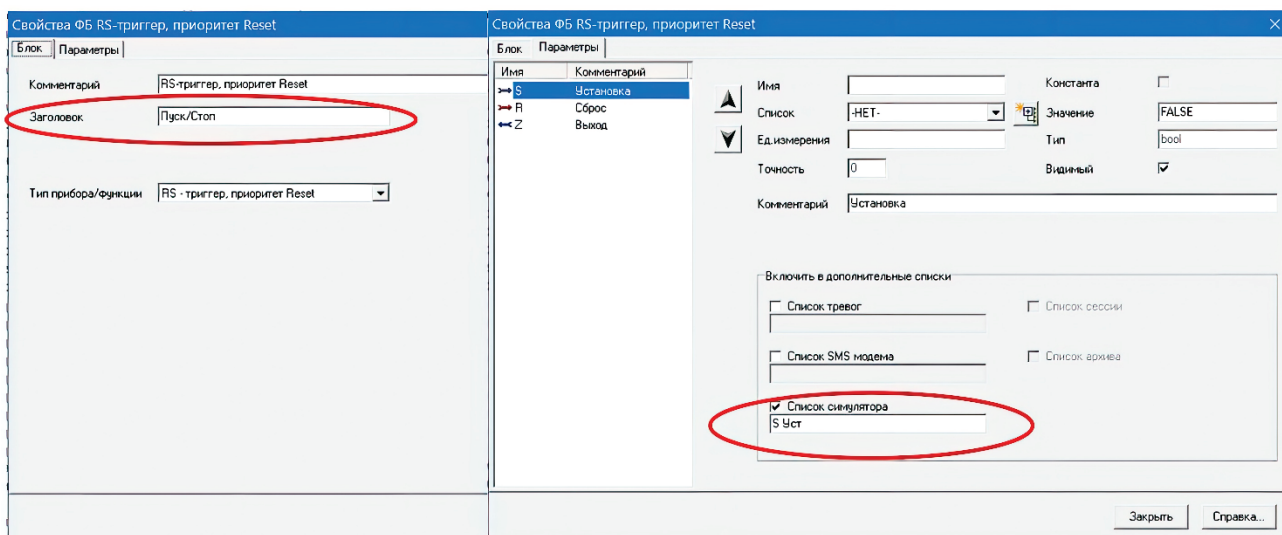


Рисунок 30 – Настройка блока «RS-триггера»

Установка данного флажка необязательна, если перед загрузкой в контроллер не ставится цель проверки работы программы в режиме симуляции.

После проделанных действий, блок «RS-триггера» на рабочем поле будет выглядеть, как показано на рисунке 31.

Далее с помощью блоков задержек и еще одного «RS-триггера» (второй блок «RS-триггера» вместе с блоками «Не» и «Задержка» включения используются для задержки закрытия заслонки) следует дописать логику пуска и останова лабораторной установки системы вентиляции согласно условиям. Эта часть программы будет выглядеть, как показано на рисунке 32.

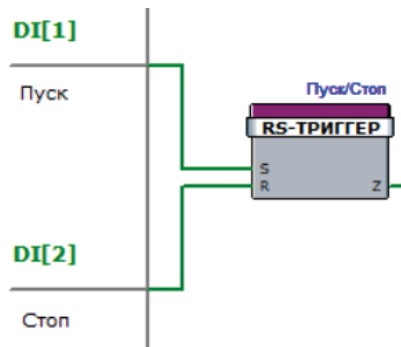


Рисунок 31 – Внешний вид блока «RS-триггера» после настройки

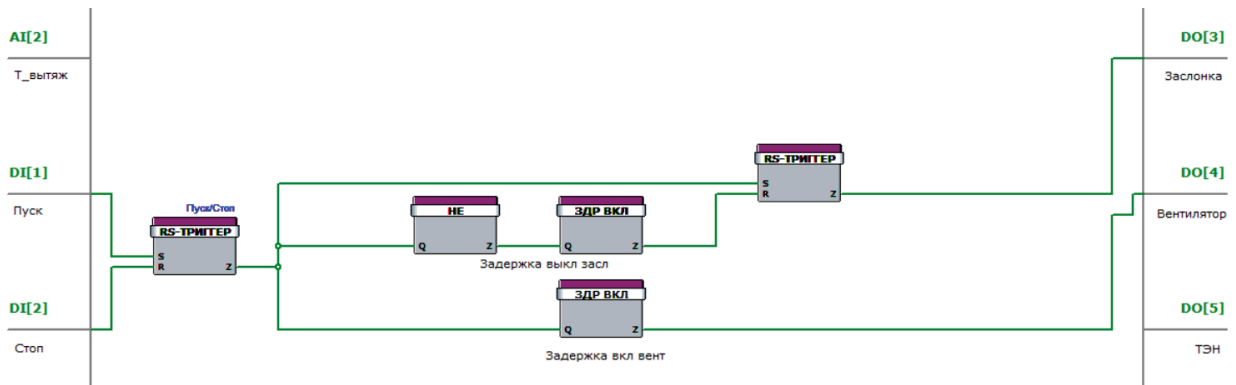


Рисунок 32 – Пуск/Стоп установки

Параметры данных блоков также можно добавить в список симулятора. Однако, следует учитывать, что экран симуляции не должен быть перегружен информацией. Выносить на него следует только те параметры, которые наиболее важны для наблюдения за работой алгоритма программы.

Для блоков задержки включения необходимо задать следующие настройки для параметра T (рис. 33).

| Имя | Комментарий | Имя | Константа | Значение | Тип | Видимый |
|-----|---------------------|--------------|-------------------------------------|--------------------|-------|--------------------------|
| Q | Вход | | <input checked="" type="checkbox"/> | 15 | float | <input type="checkbox"/> |
| Z | Выход | | <input type="checkbox"/> | | | |
| T | Задержка включен... | Имя | | | | |
| TR | Время до включения | Список | | | | |
| | | Ед.измерения | | сек | | |
| | | Точность | | 0 | | |
| | | Комментарий | | Задержка включения | | |

Рисунок 33 – Настройки для параметра T блока задержки включения

Теперь следует расположить блоки преобразования входных аналоговых сигналов с датчиков температуры (рис. 34). Для датчика температуры приточного воздуха следует выбрать блок «ТСН 1К», а для датчика температуры вытяжного

воздуха – блок «ТСП 1К».

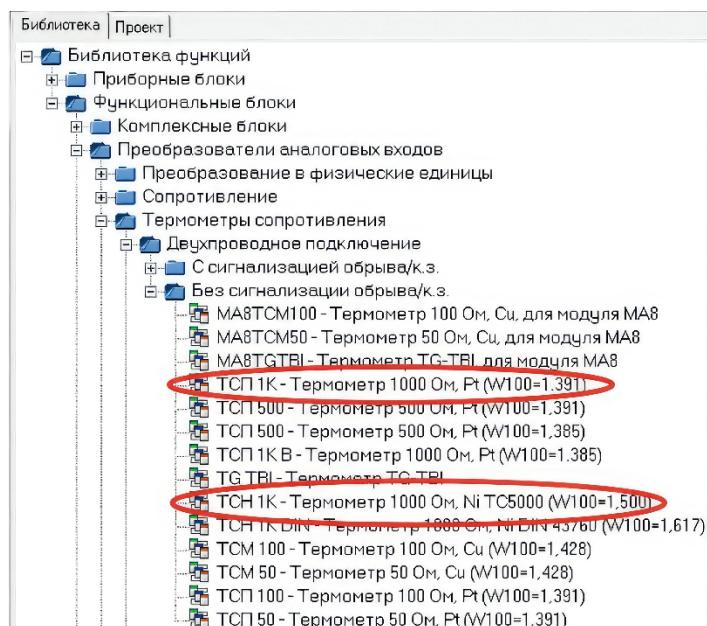


Рисунок 34 – Выбора блоков для преобразования сигналов с датчиков температуры

Для блока «ТСН 1К» в окне свойств разделе «Блок» следует задать заголовок «Т_прит» (рис. 35).

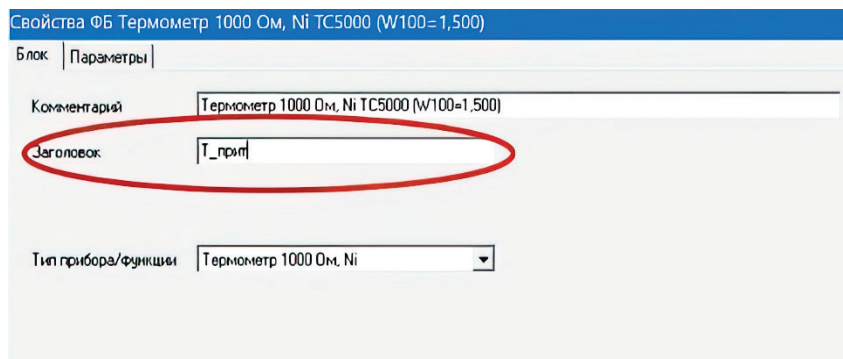


Рисунок 35 – Задание заголовка для блока «ТСН 1К»

После задания заголовка, необходимо перейти в раздел «Параметры». В нем следует ввести настройки для параметра YCEL. В дальнейшем он будет выводиться на экран оператора в программе КОНСОЛЬ. Поэтому для него следует создать новый список с названием «Осн. параметры», задать ему понятное имя, установить точность, т.е. количество знаков после запятой.

Кроме того, данный параметр следует занести в список симулятора.

Таким образом, настройки для данного параметра выглядят следующим образом (рис. 36).

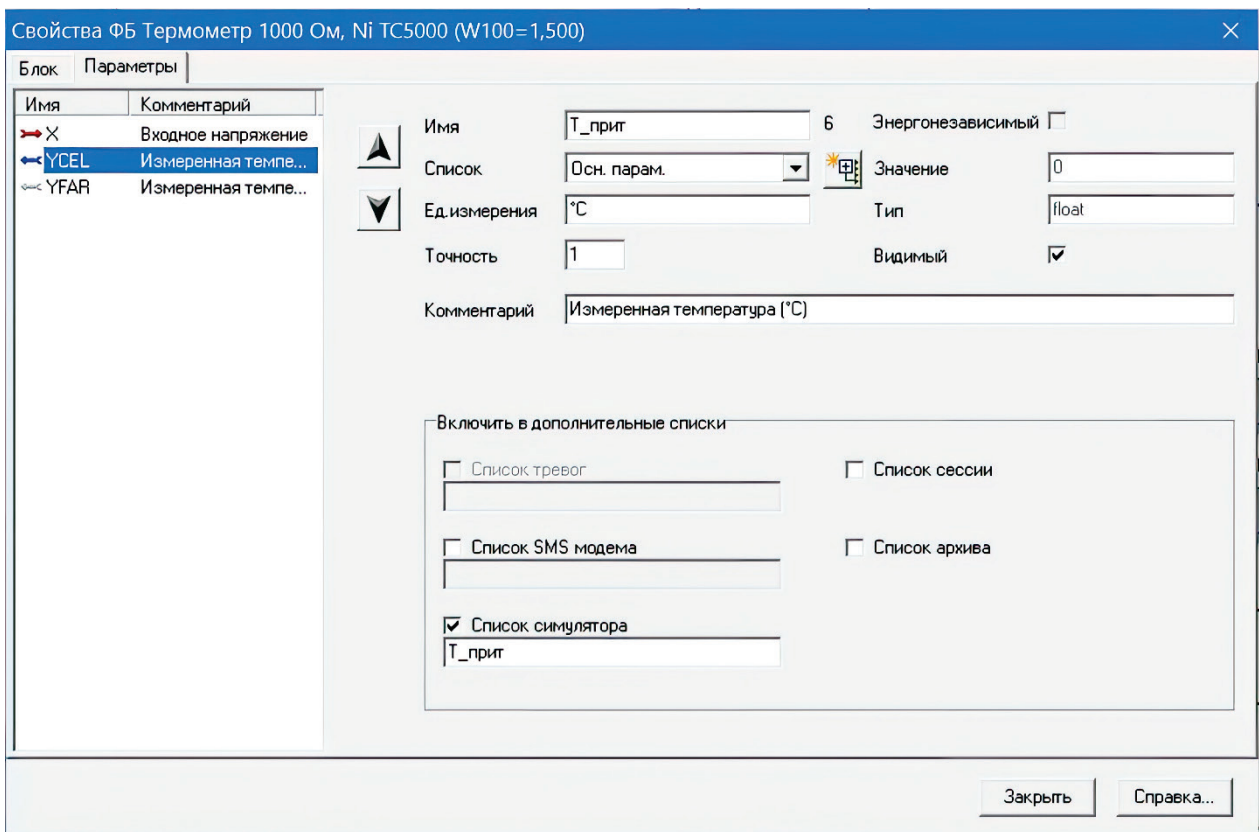


Рисунок 36 – Настройки параметра YCEL блока «ТСН 1К»

Аналогичным образом следует настроить блок «ТСП 1К».

После настройки данные блоки будут выглядеть так, как показано на рисунке 37.

Далее необходимо реализовать двухпозиционный, т.е. дискретный, регулятор для нагрева температуры приточного воздуха электронагревателем до заданного с экрана оператора значения и его дальнейшего поддержания.

Принцип работы двухпозиционного регулятора для регулирования температуры приточного воздуха в данной лабораторной установке заключается в следующем. При нахождении значения температуры приточного воздуха ниже установленной границы регулятор подает сигнал на электронагреватель. Температура начинает расти. Как только значение температуры достигает верхней установленной границы, регулятор выключает электронагреватель, а, следовательно, совсем через небольшое время температура начинает падать, пока вновь не становится меньше нижней границы, после чего включается электронагреватель и т.д.

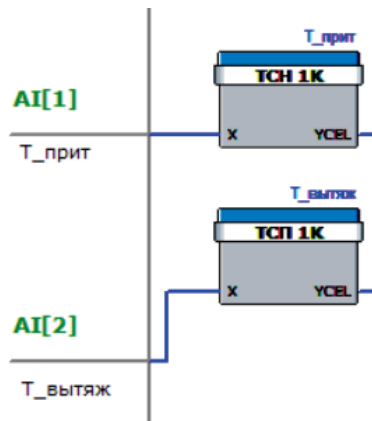


Рисунок 37 – Внешний вид блоков «ТСН 1К» и «ТСП 1К» после настройки

В данной программе следует предусмотреть ввод задания температуры приточного воздуха и границ включения/выключения электронагреватель с экрана оператора.

Для этого необходимо использовать блоки задания аналогового значения.

Двухпозиционный регулятор для данной программы может выглядеть следующим образом (рис. 38).

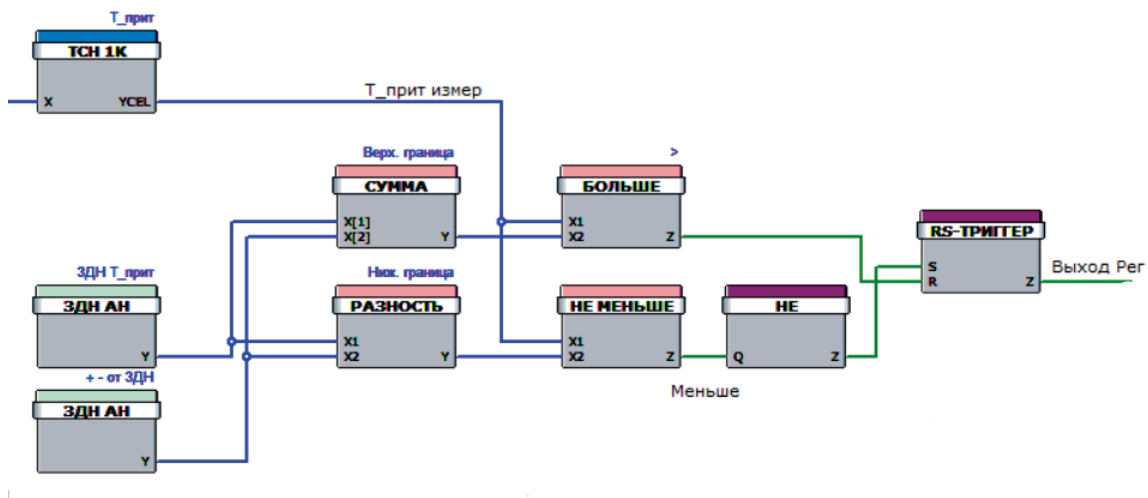


Рисунок 38 – Двухпозиционный регулятор

Особое внимание следует уделить настройке блоков аналогового задания (рис. 39). Они находятся в подкаталоге Задание.

Настроить блок задания температуры приточного воздуха необходимо следующим образом. В разделе «Блок» ввести заголовок «ЗДН Т_прит» (рис. 40).

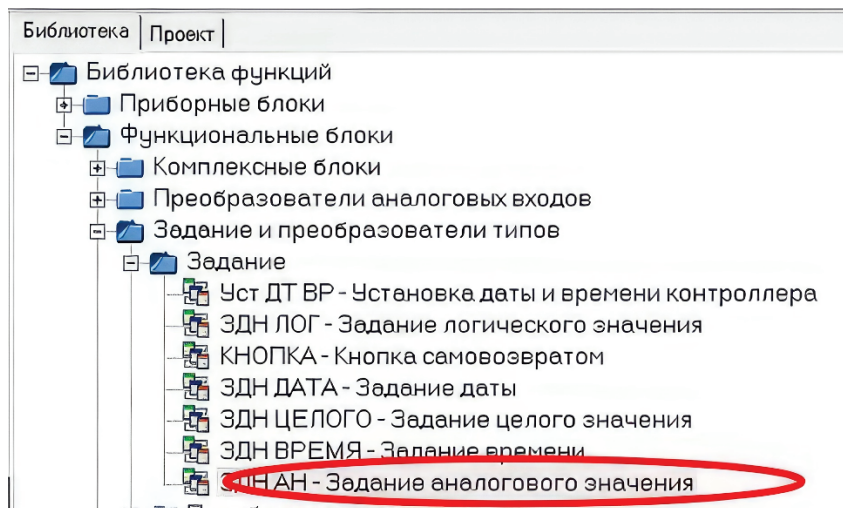


Рисунок 39 – Расположение в библиотеке блоков аналогового задания

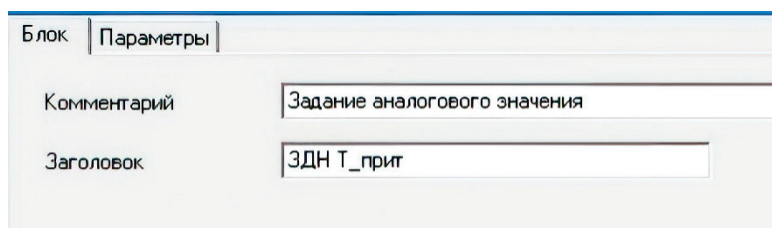


Рисунок 40 – Ввод заголовка для блока аналогового задания

В разделе параметры настроить параметр X, как показано на рисунке 41.

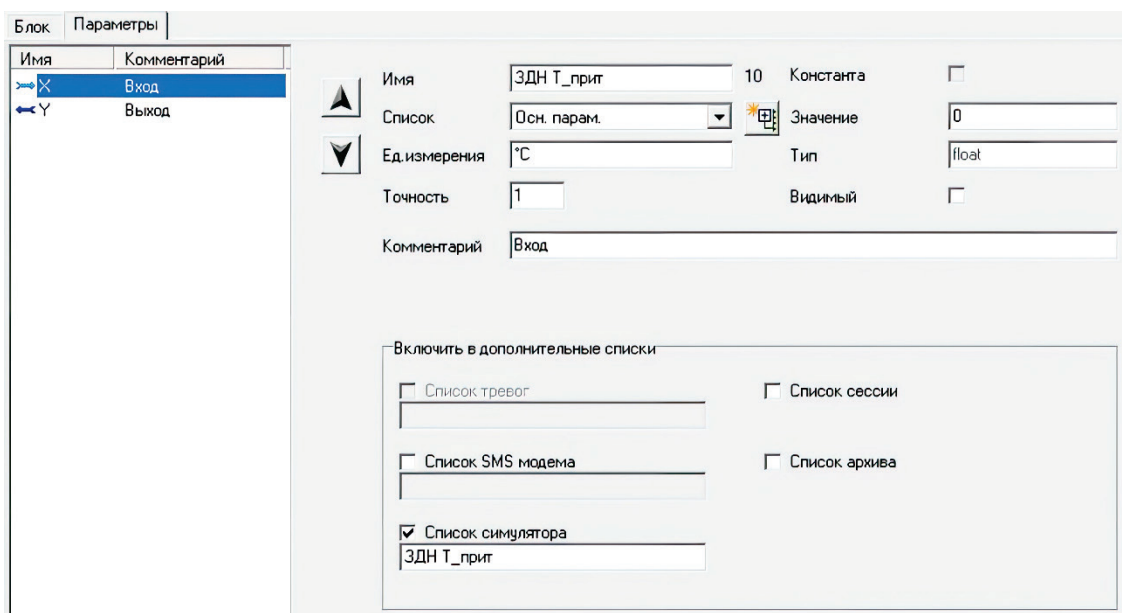


Рисунок 41 – Настройки параметра X блока задания приточной температуры

Для настройки блока задания границ нужно проделать аналогичные действия.

Блоки «Сумма», «Разность», «Больше» и «Не меньше» находятся в подкаталоге Математических функций для аналоговых величин (рис. 42).

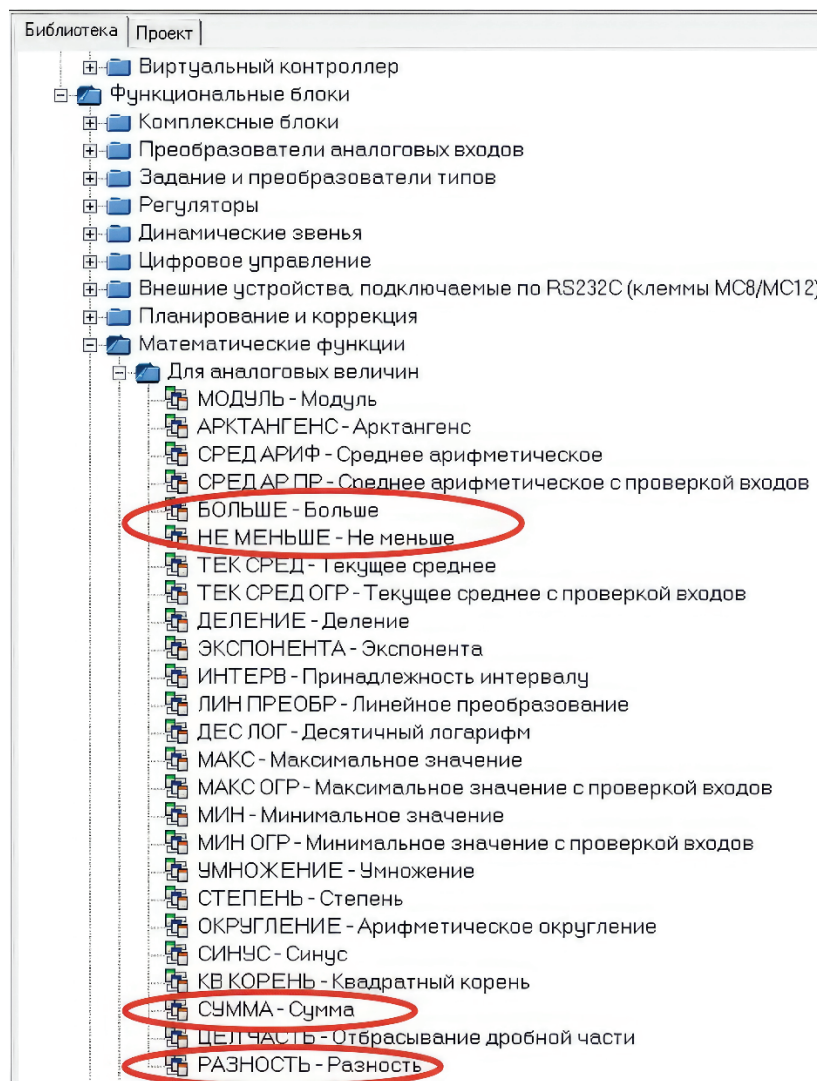


Рисунок 42 – Расположение в библиотеке блоков «Больше», «Не меньше», «Сумма» и «Разность»

Блок «Не» находится в подкаталоге «Основные логические функции» (рис. 43).

После того, как была разработана логика регулирования температуры, следует предусмотреть тот факт, что электронагреватель не должен быть включен при выключенных вентиляторах, поскольку это может привести к поломке оборудования. Кроме того, нагревание воздуха не должно превышать температуры 60 °С (или температуры аварийной ситуации, заданной оператором). Поэтому в программе необходимо предусмотреть блокировку включения электронагревателя и аварию перегрева.

Для создания блокировки понадобится блок логического элемента «И» из подкаталога «Основных логических функций» (рис. 44).

Логика данной блокировки (рис. 45) заключается в следующем. Если температура приточного воздуха в канале ниже заданной нижней границы, но вентиляторы не работают, электронагреватель будет выключен. Если же вентиляторы работают, и температура в приточном канале ниже заданной нижней границы, то электронагреватель будет запущен.

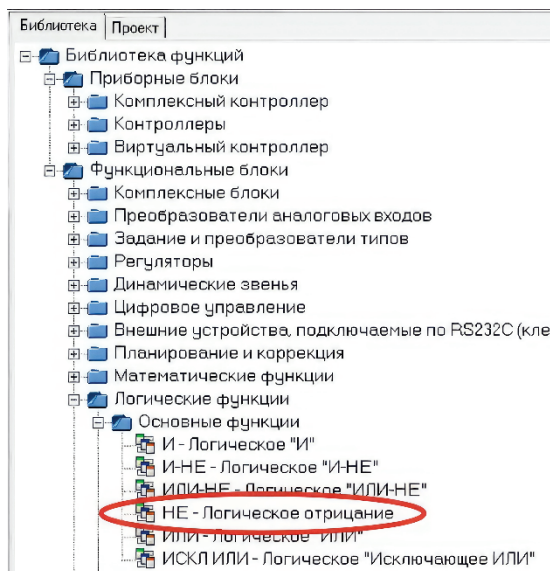


Рисунок 43 – Расположение в библиотеке блока «Не»

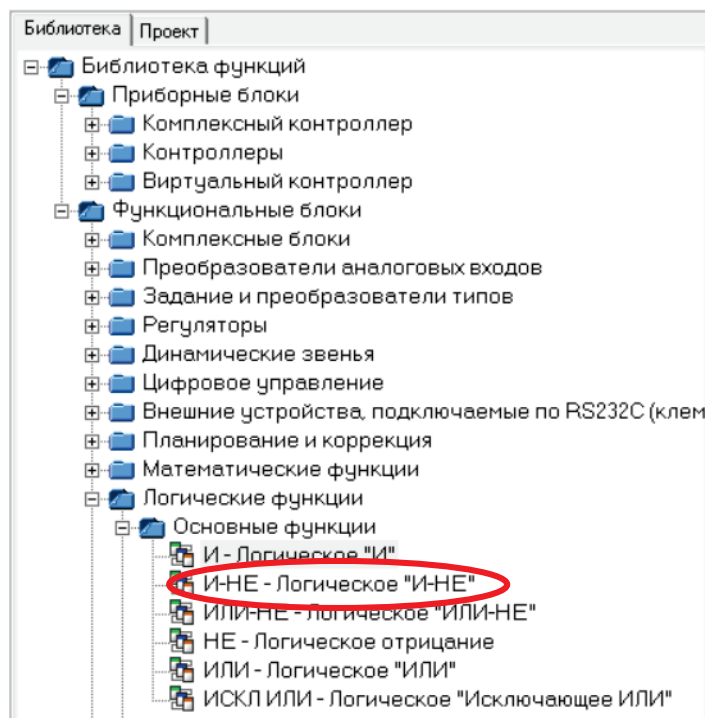


Рисунок 44 – Расположение в библиотеке блока «И»

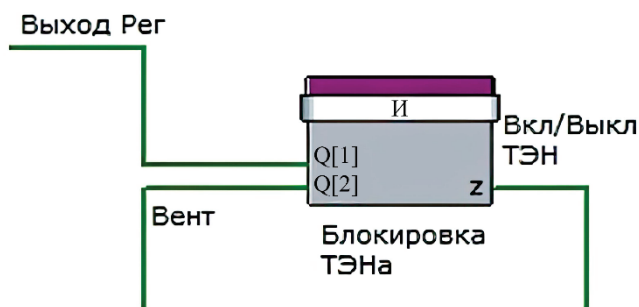


Рисунок 45 – Блокировка включения электронагревателя

Для аварии перегрева необходимо использовать блок «Больше». Чтобы реализовать возможность ввода значения температуры аварии оператором, блоку необходимо задать следующие настройки (рис. 46).

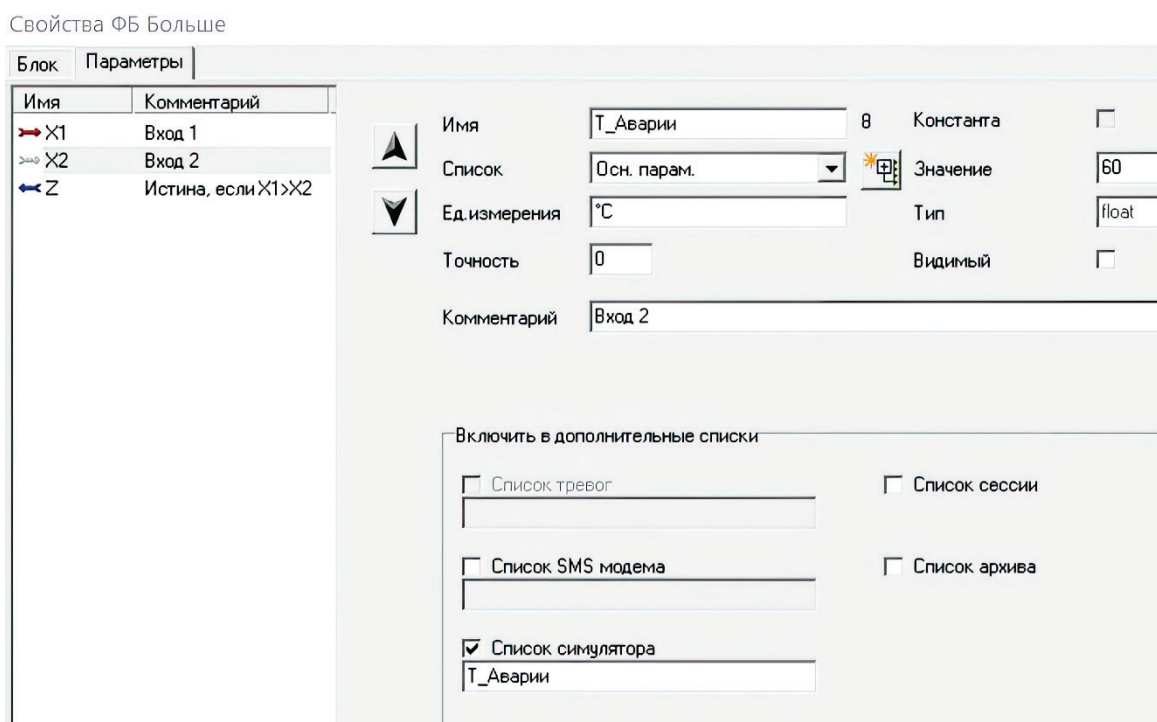


Рисунок 46 – Настройки блока «Больше» для аварии перегрева

Ко входу X1 блока «Аварии перегрева» подключается выход с блока «Т_прит», а выход блока «Аварии перегрева» подключается к выходу DO2.

Таким образом итоговая программа выглядит так, как показано на рисунке 47.

Для проверки логики работы алгоритма рекомендуется запустить режим симуляции. Для этого необходимо нажать на значок «Симулировать активный блок» (рис. 48).

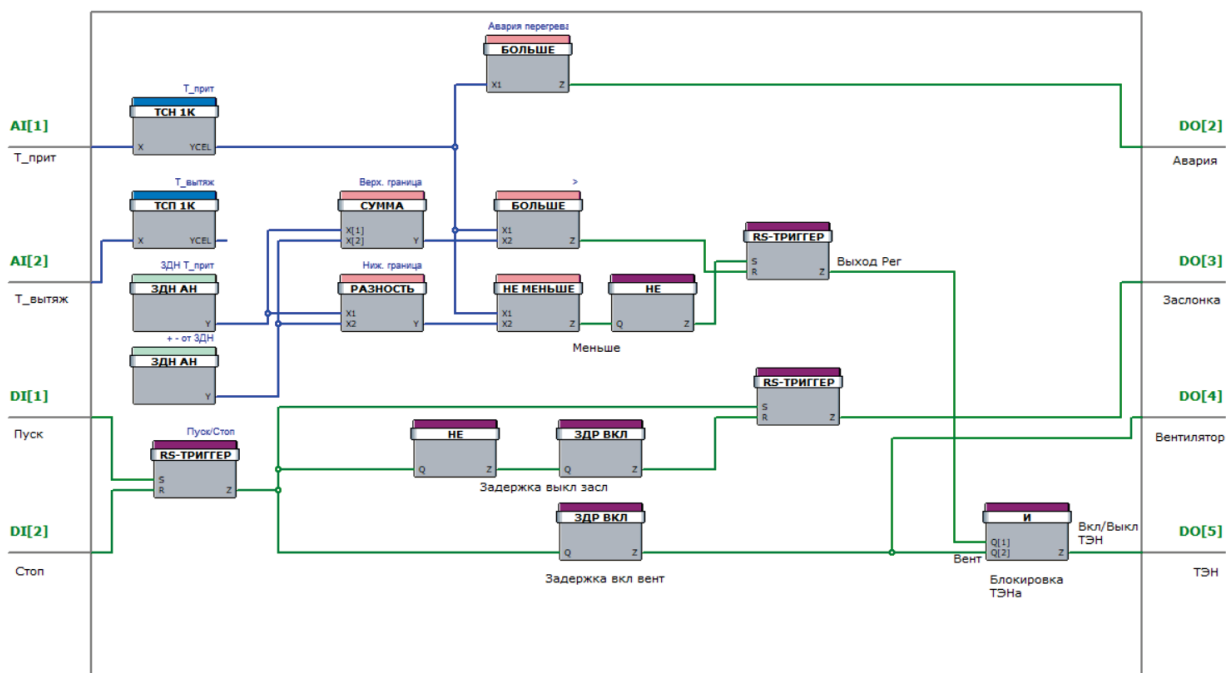


Рисунок 47 – Итоговая программа управления установкой приточно-вытяжной вентиляции

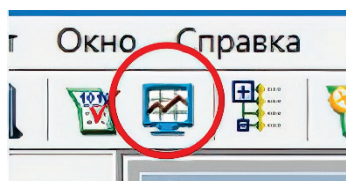


Рисунок 48 – Значок «Симулировать активный блок»

В левой части открывшегося окна KONGRAF Simulator необходимо нажать на значок + у надписи MC5. После этого высветится список параметров, добавленных в список симулятора (рис. 49).

При желании, можно создать график для одного или нескольких параметров. Для этого необходимо перетянуть желаемый параметр из левой части на зеленое поле в правой части.

Чтобы запустить симуляцию, необходимо нажать зеленую кнопку «Пуск». Для остановки – красную кнопку «Стоп».

Пример работы симулятора представлен на рисунке 50.

Если в результате симуляции ошибок в логике выявлено не было, то далее можно перейти к компиляции проекта. Для этого необходимо нажать на значок «Компилировать проект» (рис. 51).

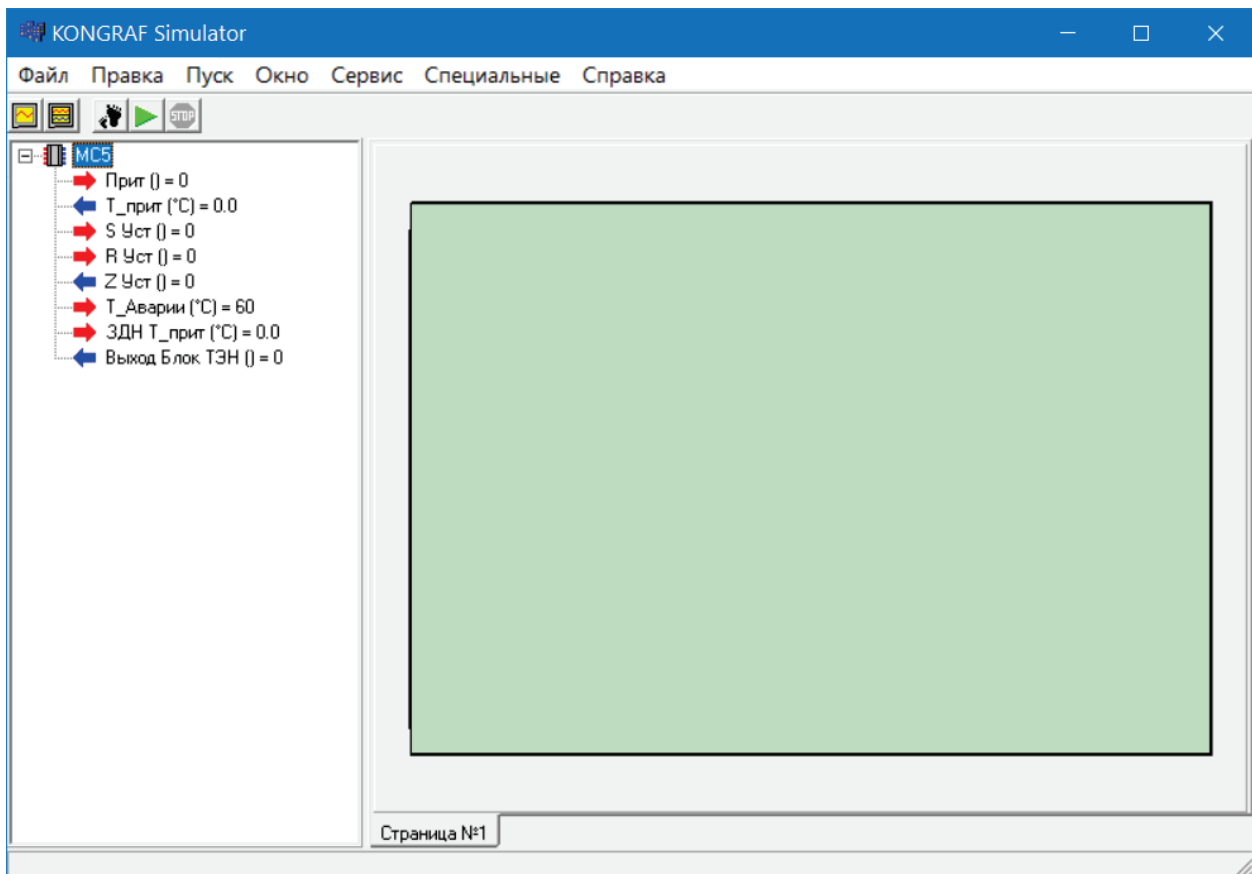


Рисунок 49 – Окно симулятора с параметрами для симуляции

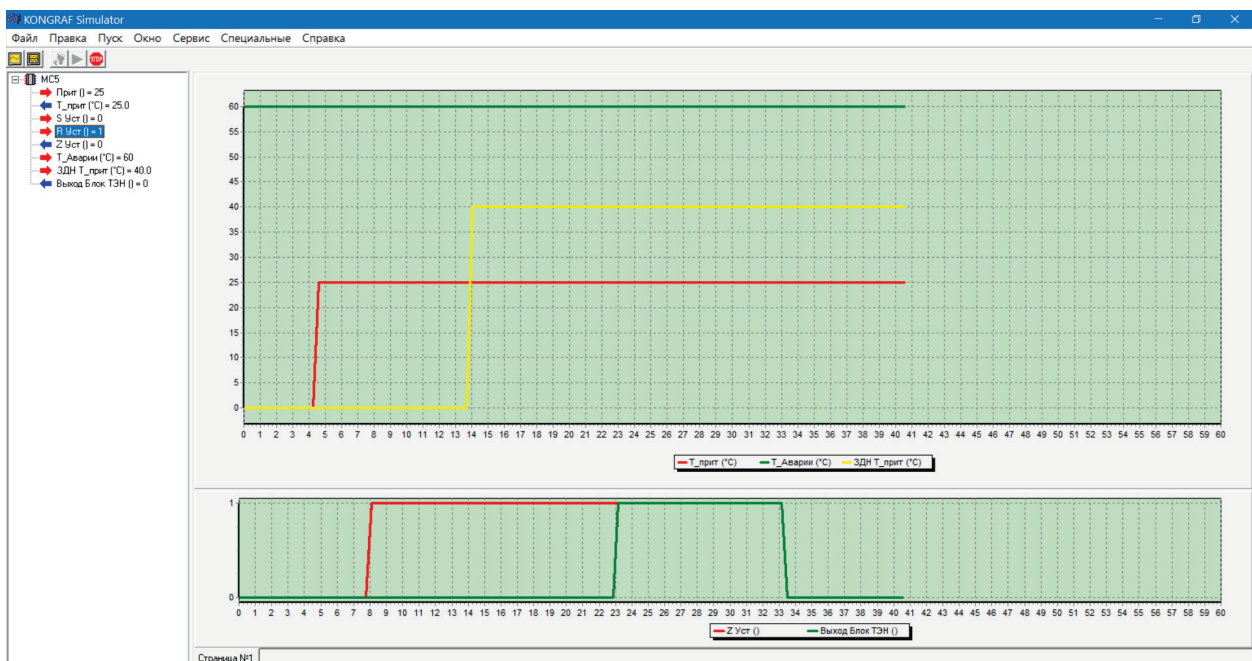


Рисунок 50 – Пример работы симулятора

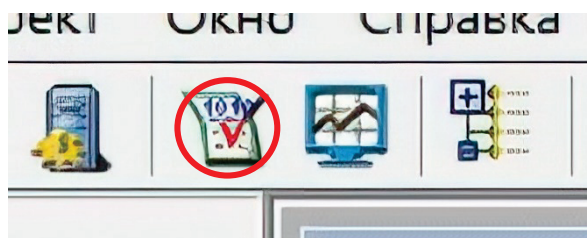


Рисунок 51 – Значок «Компилировать проект»

После нажатия на значок «Компилировать проект» появится окно сообщений (рис. 52).

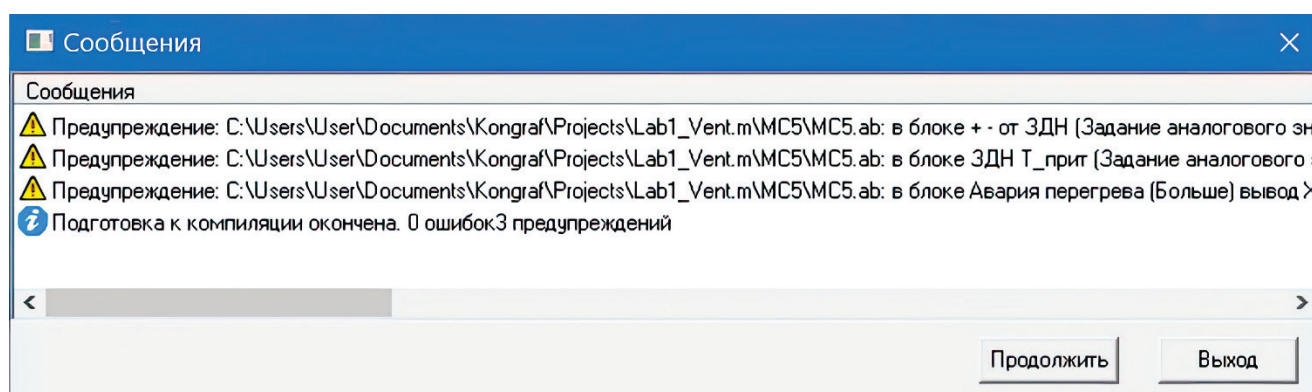


Рисунок 52 – Окно сообщений при компиляции проекта

Предупреждения в данном окне не влияют на работу алгоритма. Необходимо нажать кнопку «Продолжить» с целью завершения компиляции. Результатом компиляции является bin-файл, который необходимо будет загрузить в контроллер.

Для загрузки программы в контроллер и для мониторинга процесса необходимо использовать программу КОНСОЛЬ.

Для начала работы необходимо запустить программу КОНСОЛЬ, включить в розетку лабораторную установку и перевести в положение «Включено» выключатель нагрузки «QS1» и автоматы «QF1 – QF4».

Затем подключить контроллер к компьютеру операторской станции по RS-232.

Чтобы загрузить bin-файл с программой в контроллер, необходимо в правой части окна КОНСОЛИ нажать кнопку «Загрузчик», а после этого кнопку «Поиск» (рис. 53).

В появившемся окне открыть папку, где был сохранен проект (по умолчанию проекты сохраняются по адресу C:\Documents and Settings\Admin\Мои документы\Kongraf\Projects).

После того, как необходимый файл найден, его следует выбрать и нажать кнопку «Загрузить» (рис. 54).

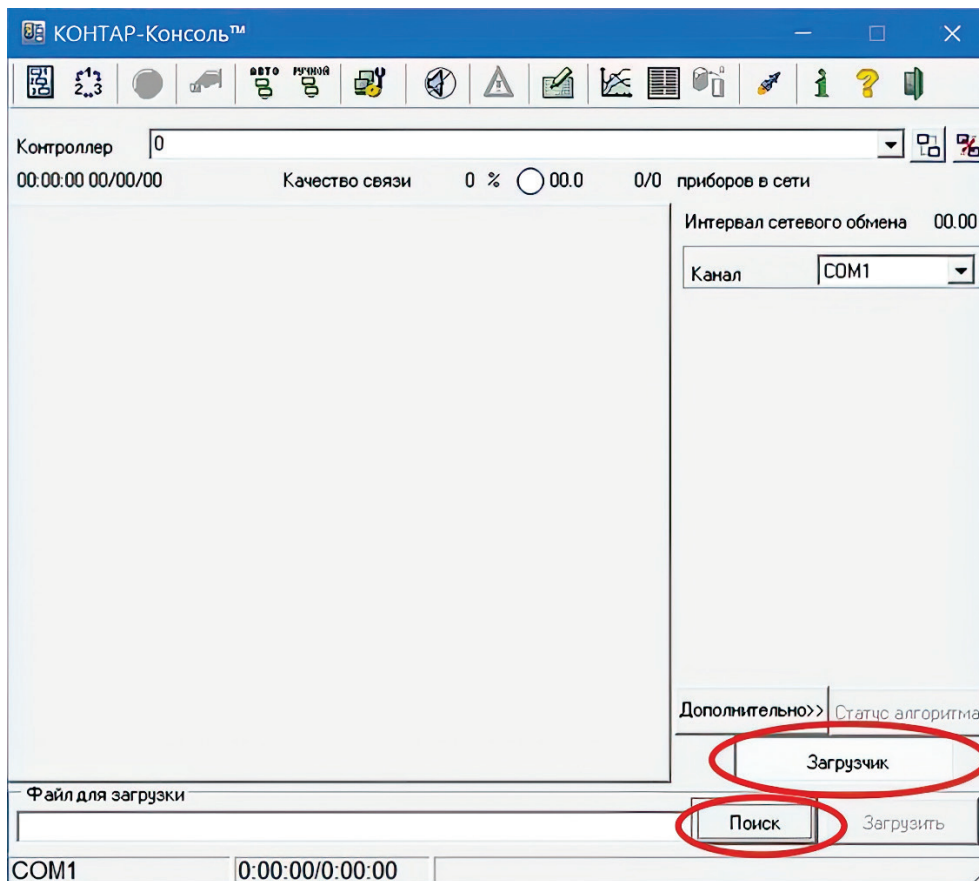


Рисунок 53 – Кнопки «Загрузчик» и «Поиск» для загрузки программы

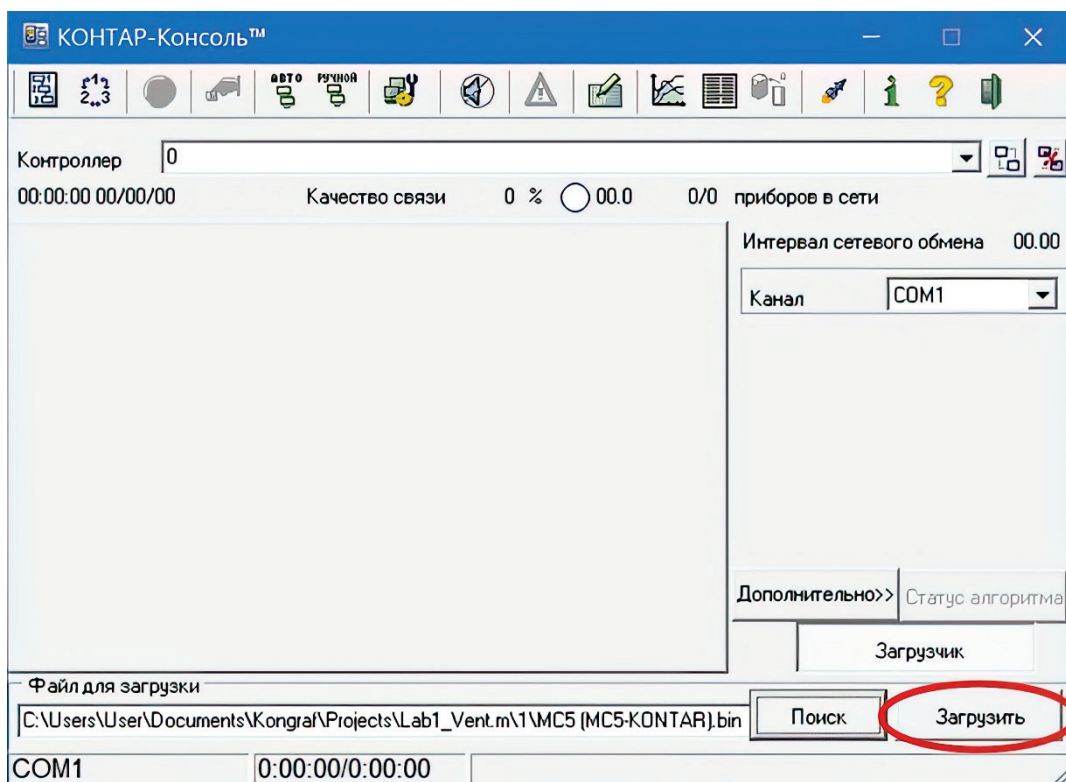


Рисунок 54 – Кнопка «Загрузить»

Сразу после того, как программа будет загружена, автоматически подключится соединение с контроллером, и на экране КОНСОЛЬ появится список основных параметров, созданный в КОНГРАФ (рис. 55).

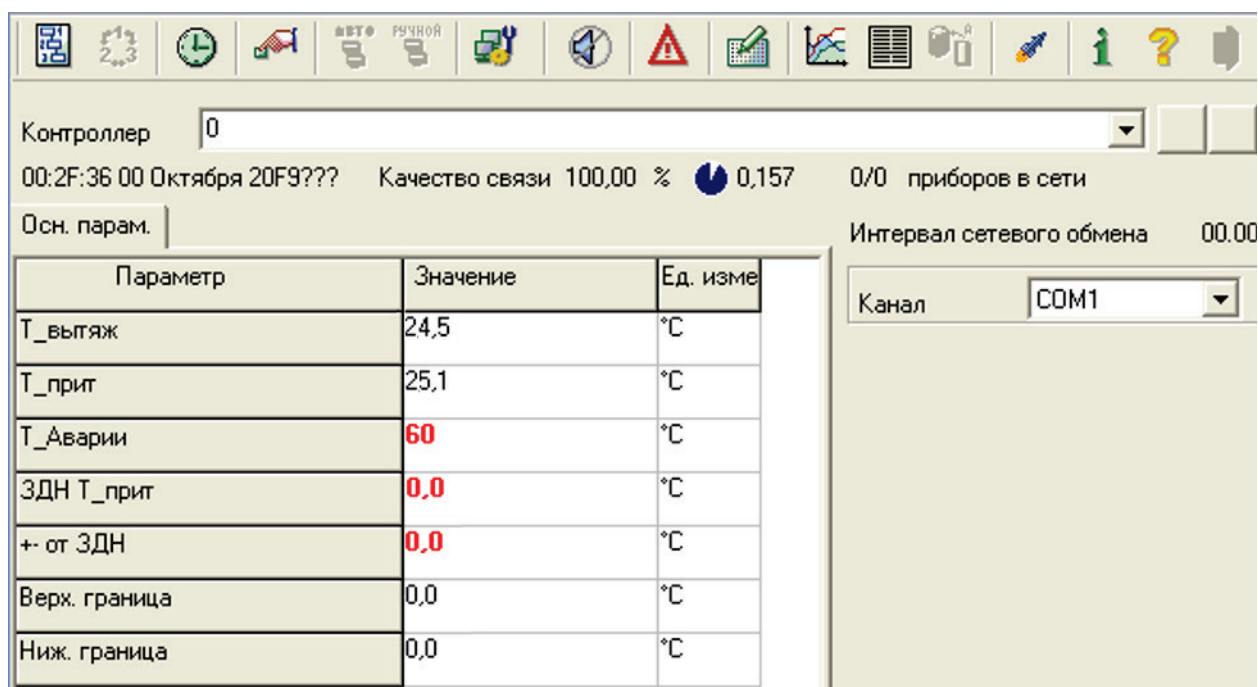


Рисунок 55 – Список параметров для мониторинга

Как видно из рисунка 55, список содержит параметры красного и черного цвета. Красные параметры являются статическими, т.е. задаваемыми, а черные – динамическими, т.е. вычисляемыми.

Чтобы наблюдать изменение температуры на графике, следует щелкнуть по значку «Графики» (рис. 56).



Рисунок 56 – Значок «Графики»

В поле выпадающего списка необходимо кликнуть два раза левой кнопкой мыши, чтобы появились списки параметров (рис. 57).

Соответствующие параметры следует «перетащить» в поле построения графика. Рекомендуется задать масштаб, т.е. верхний и нижний пределы оси ординат (рис. 58).

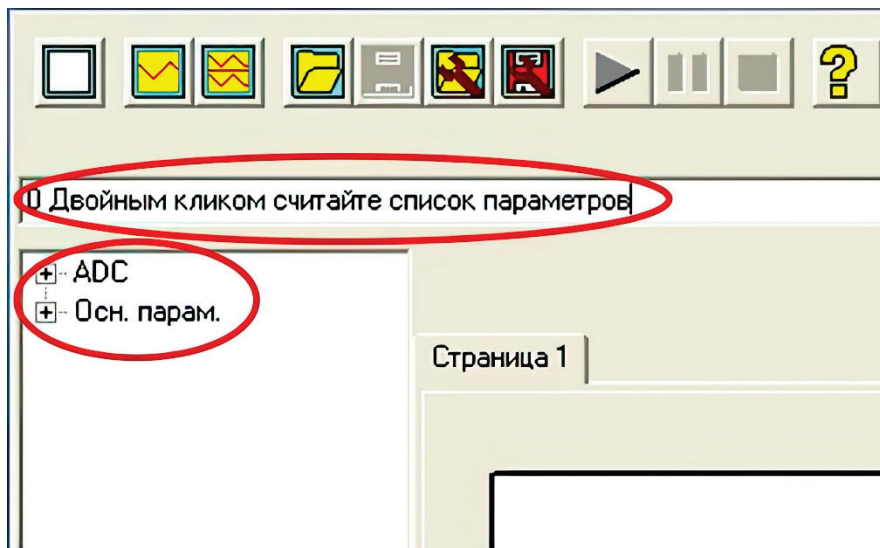


Рисунок 57 – Добавление списка параметров

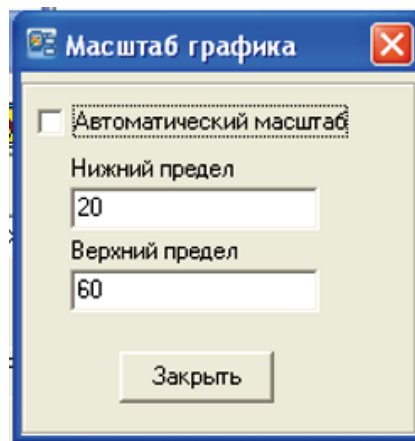


Рисунок 58 – Выбор масштаба оси ординат

После этого следует произвести настройки для оси абсцисс, т.е. оси времени (рис. 59). Так как у контроллера не производилась настройка времени, следует установить флаг «Время компьютера». Также следует выбрать период занесения измеренных значений на график. Для данной работы рекомендуется установить период равный 1 с.

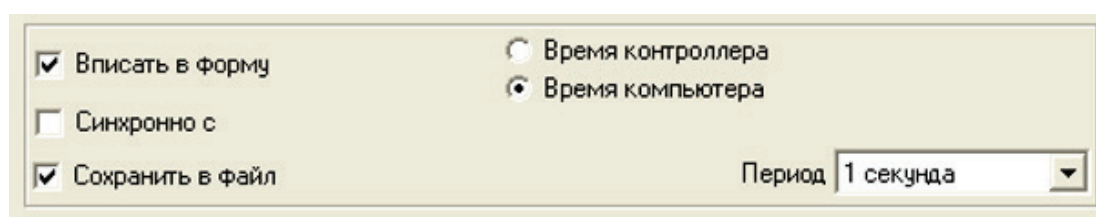


Рисунок 59 – Настройка оси времени

Когда все настройки произведены, следует нажать кнопку «Запустить» (рис. 60) и вернуться обратно в главное окно КОНСОЛЬ, где располагаются основные параметры.



Рисунок 60 – Кнопка «Запустить»

Всем статическим параметрам следует ввести с клавиатуры заданные значения. Например, для параметра ЗДН $T_{\text{прит}}$ ввести значение 40,0 °С, а для параметра \pm от ЗДН – значение 2,0 °С.

После этого таблица с основными параметрами будет выглядеть, как показано на рисунке 61.

| Осн. парам. | | |
|-----------------------|-------------|----------|
| Параметр | Значение | Ед. изме |
| $T_{\text{вьгяж}}$ | 34,5 | °С |
| $T_{\text{прит}}$ | 45,1 | °С |
| $T_{\text{Аварии}}$ | 60 | °С |
| ЗДН $T_{\text{прит}}$ | 40,0 | °С |
| \pm от ЗДН | 2,0 | °С |
| Верх. граница | 42,0 | °С |
| Ниж. граница | 38,0 | °С |

Рисунок 61 – Таблица основных параметров после ввода значений статических параметров

Спустя некоторое время график будет выглядеть так, как показано на рисунке 62.

Чтобы завершить работу с графиками и сохранить полученные данные, необходимо нажать кнопку «Остановить» (рис. 63а), кнопку «Сохранить как» (рис. 63б) и кнопку «Сохранить конфигурацию» (рис. 63в).

После этого можно кнопкой «Стоп» в шкафу управления выключить установку, а затем остановить связь контроллера с компьютером. Для этого необходимо нажать на кнопку «Разорвать связь» (рис. 64).

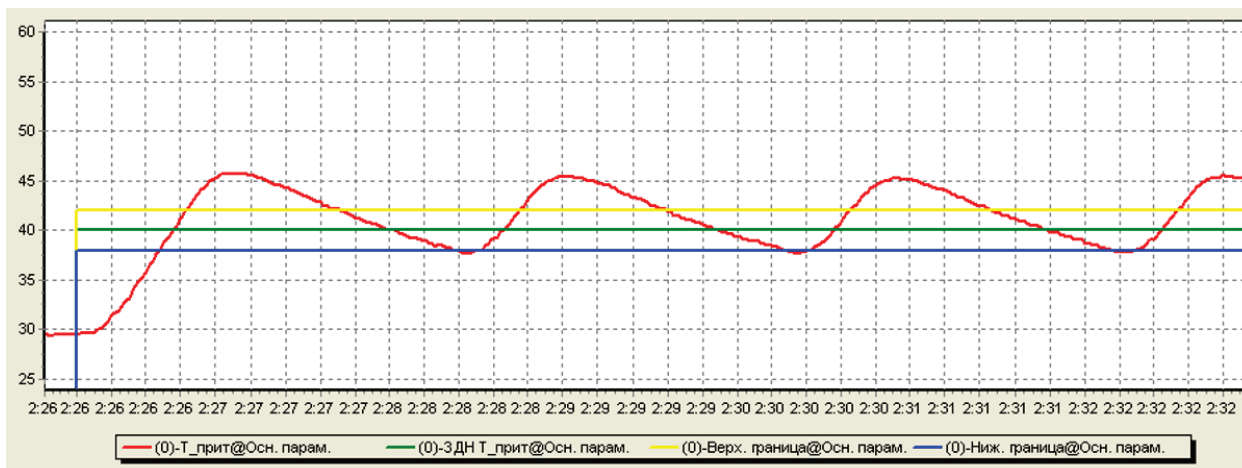


Рисунок 62 – Внешний вид графика

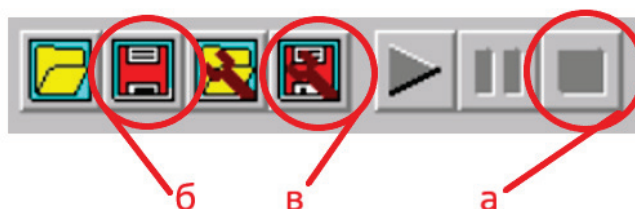


Рисунок 63 – Кнопки управления графиком:
а – «Стоп»; *б* – «Сохранить как»; *в* – «Сохранить конфигурацию»



Рисунок 64 – Кнопка «Разорвать связь»

При необходимости связь можно установить обратно без перезагрузки файла в контроллер. Для этого необходимо нажать на кнопку «Установить связь» (рис. 65).

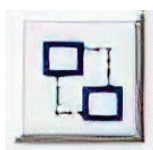


Рисунок 65 – Кнопка «Установить связь»

Следует учесть, что связь может быть установлена только при наличии питания на контроллере.

3.3. Контрольные вопросы

1. Что такое релейный регулятор?
2. Что такое зона гистерезиса?
3. Как выглядит кривая переходного процесса при двухпозиционном регулировании?
4. С помощью какого языка программирования создается программа в ПТК КОНТАР МС8?
5. Для чего используется КОНСОЛЬ?
6. Схематично изобразите комбинацию и связь блоков, с помощью которых обеспечивается двухпозиционное (релейное) регулирование.

3.4. Лабораторная работа № 2. Сравнение работы ПИ-регулирования с релейным регулированием

Цели: сравнить работу ПИ-регулятора с релейным регулятором для стенда приточно-вытяжной системы вентиляции.

Задание: создать систему автоматического регулирования температуры приточного воздуха системы вентиляции, обеспечивающую выполнение следующих требований:

- перерегулирование $\sigma \leq 10 \%$;
- время переходного процесса $t_{\text{п}} < 400 \text{ с}$;
- рассогласование $\varepsilon \leq \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ход работы

Включить компьютер и запустить программу КОНГРАФ. Затем выбрать в дереве проектов слева (рис. 66) программу лабораторной работы № 1 (или нажать меню «Файл»), кликнуть пункт «Открыть», из списка выбрать сохраненный файл лабораторной работы № 1.

После того, как открылась рабочая область выбранного проекта, необходимо нажать меню «Файл» и кликнуть в появившемся списке пункт «Копировать проект» (рис. 67).

В результате этих действий появится окно «Создать новый проект» (рис. 68), в котором необходимо задать имя для новой программы.

Далее следует нажать кнопку «ОК», после чего откроется рабочая область скопированного проекта.

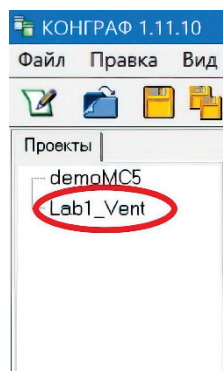


Рисунок 66 – Программа лабораторной работы №1 в дереве проектов

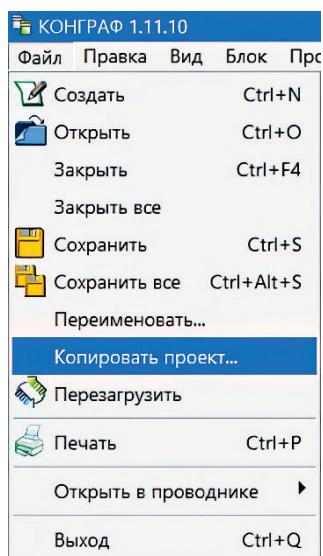


Рисунок 67 – Копирование проекта программы

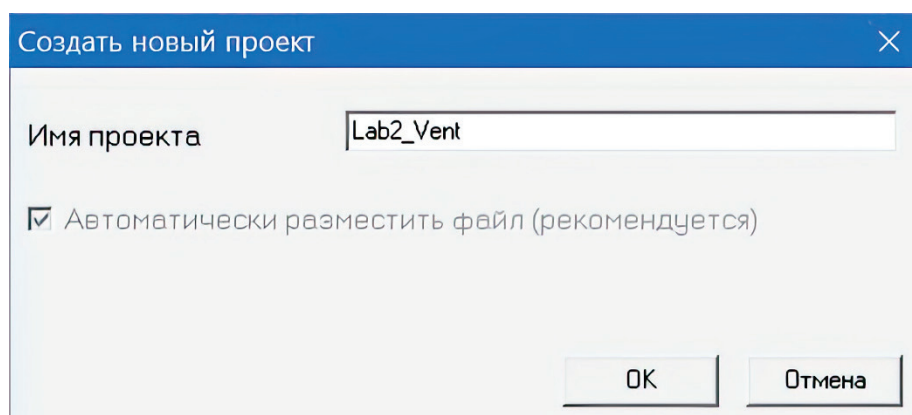


Рисунок 68– Окно «Создать новый проект»

После этого необходимо перейти в рабочую область основного алгоритма программы и удалить из программы блоки, относящиеся к двухпозиционному

регулятору, а также блок блокировки «И» и соединительную линию с выхода блока блокировки на выход контроллера DO5 (рис. 69).

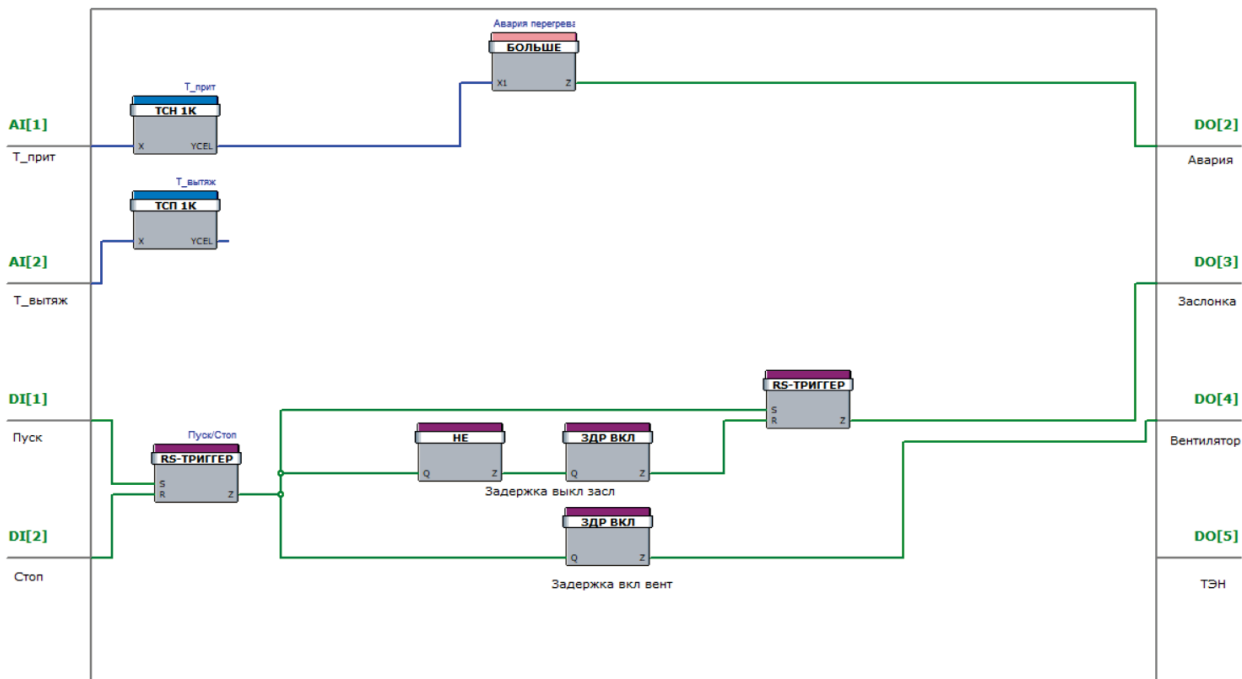


Рисунок 69 – Программа после удаления части элементов

После проделанных действий необходимо вернуться в рабочую область проекта, в которой размещен функциональный блок контроллера MC5.

В разделе свойств «Входы/Выходы» данного блока следует удалить дискретный выход DO5 и добавить аналоговый вход AO1. После чего внешний вид блока контроллера MC5 на рабочей области будет выглядеть, как показано на рисунке 70.

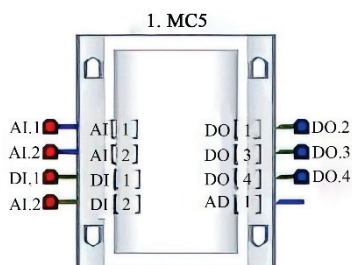


Рисунок 70 – Блок контроллера MC5 после изменения его выходов

После этого следует перейти в рабочую область с основной программой, внешний вид которой теперь будет выглядеть так, как показано на рисунке 71.

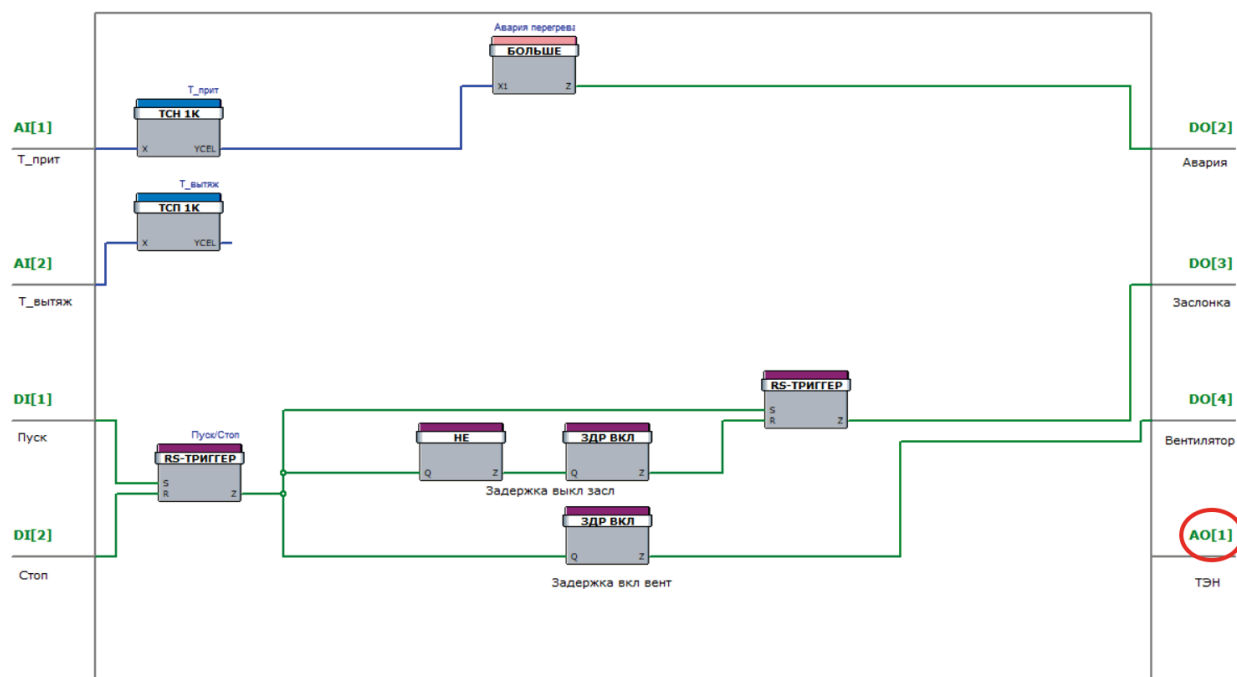


Рисунок 71 – Рабочая область основного алгоритма программы после изменения выходов блока контроллера MC5

Для того, чтобы программа содержала в себе автоматическую систему регулирования температуры приточного воздуха, в ее алгоритм необходимо добавить функциональный блок регулятора. В системах вентиляции чаще всего достаточно использования ПИ-закона регулирования. Это связано с тем, что дифференциальная составляющая влияет на быстродействие системы, которое для систем вентиляции имеет малое значение.

В качестве блока регулятора для разрабатываемой программы следует добавить блок «ПИ АНЛГ Р» (ПИ-Регулятор аналоговый с ручным управлением) из библиотеки «Регуляторы» (рис. 72).

После «перетаскивания» блока из библиотеки на рабочую область откроется окно «Создать новый блока», в котором необходимо задать осмысленное имя для блока регулятора (рис. 73).

На рисунке 74 представлен внешний вид блока «ПИ АНЛГ Р», добавленного на рабочую область.

На рисунке 75 представлено описание параметров этого блока.

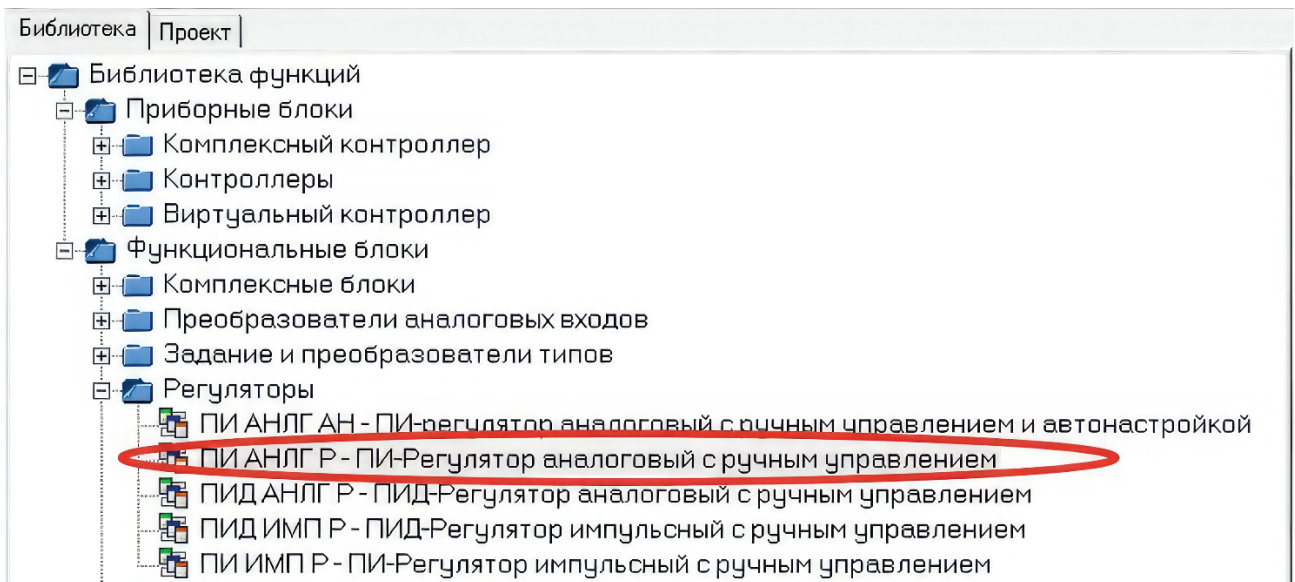


Рисунок 72 – Блок «ПИ АНЛГ Р»

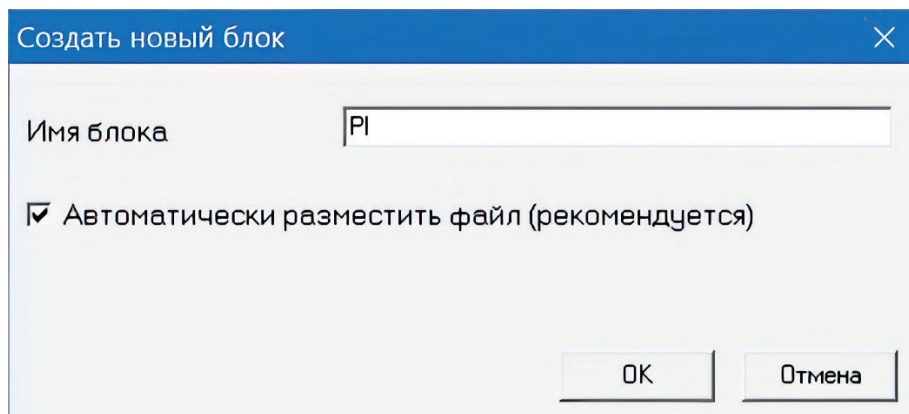


Рисунок 73 – Окно «Создать новый блок»

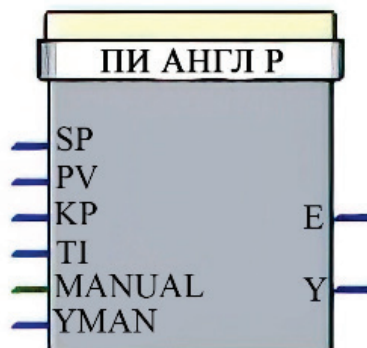


Рисунок 74 – Внешний вид блока «ПИ АНЛГ Р»

| Имя | Вх/Вых | Тип | Комментарий |
|--------|--------|---------|--|
| SP | Вход | аналог. | Задание |
| PV | Вход | аналог. | Регулируемый параметр |
| TF | Вход | аналог. | Постоянная времени фильтра |
| KP | Вход | аналог. | Коэффициент пропорциональности |
| TI | Вход | аналог. | Постоянная времени интегрирования |
| MANUAL | Вход | логич. | Установить уставку |
| YMAN | Вход | аналог. | Уставка |
| ACTION | Вход | логич. | Направление действия (FALSE - прямое, TRUE - обратное) |
| E | Выход | аналог. | Значение рассогласования |
| Y | Выход | аналог. | Выход |

Рисунок 75 – Описание параметров блока «ПИ АНЛГ Р»

После добавления блока регулятора его необходимо настроить.

Параметр SP следует внести в список «Парам. регулятора» (параметры регулятора), который необходимо предварительно создать. Также для параметра SP следует задать осмысленное имя, например, «Задание T_прит», указать единицы измерения (°C) и их точность (достаточно одного знака после запятой). Пример задания настроек для параметра SP представлен на рисунке 76.

| | | | | |
|---------------|---|----|-----------|-------------------------------------|
| Имя | <input type="text" value="Задание T_прит"/> | 14 | Константа | <input type="checkbox"/> |
| Список | <input type="text" value="Парам. регулятор"/> | | Значение | <input type="text" value="0"/> |
| Ед. измерения | <input type="text" value="°C"/> | | Тип | <input type="text" value="float"/> |
| Точность | <input type="text" value="1"/> | | Видимый | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Комментарий | <input type="text" value="Задание"/> | | | |

Рисунок 76 – Настройки параметра SP блока «ПИ АНЛГ Р»

Аналогичным образом следует настроить параметры PV, KP, TI, MANUAL, YMAN, E, Y (рис. 77 – 83). Параметры TF и ACTION не являются необходимыми для оператора, поэтому не следует их выносить на экран.


| | | | | |
|--------------|-----------------------|---|-----------|-------------------------------------|
| Имя | Измер Т_приг | 12 | Константа | <input type="checkbox"/> |
| Список | Парам. регулятор |  | Значение | 0 |
| Ед.измерения | °С | | Тип | float |
| Точность | 1 | | Видимый | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Комментарий | Регулируемый параметр | | | |

Рисунок 77 – Настройки параметра PV блока «ПИ АНЛГ Р»


| | | | | |
|--------------|--------------------------|---|-------------------|-------------------------------------|
| Имя | Рассогласование | 15 | Энергонезависимый | <input type="checkbox"/> |
| Список | Парам. регулятор |  | Значение | 0 |
| Ед.измерения | °С | | Тип | float |
| Точность | 1 | | Видимый | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Комментарий | Значение рассогласования | | | |

Рисунок 78 – Настройки параметра E блока «ПИ АНЛГ Р»


| | | | | |
|--------------|--------------------------------|---|-----------|-------------------------------------|
| Имя | КР | 2 | Константа | <input type="checkbox"/> |
| Список | Парам. регулятор |  | Значение | 2,5 |
| Ед.измерения | °С/% | | Тип | float |
| Точность | 2 | | Видимый | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Комментарий | Коэффициент пропорциональности | | | |

Рисунок 79 – Настройки параметра КР блока «ПИ АНЛГ Р»


| | | | | |
|--------------|-----------------------------------|---|-----------|-------------------------------------|
| Имя | Т1 | 2 | Константа | <input type="checkbox"/> |
| Список | Парам. регулятор |  | Значение | 300 |
| Ед.измерения | сек | | Тип | float |
| Точность | 2 | | Видимый | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Комментарий | Постоянная времени интегрирования | | | |

Рисунок 80 – Настройки параметра Т1 блока «ПИ АНЛГ Р»


| | | | | |
|--------------|------------------|---|-------------------|-------------------------------------|
| Имя | Вых. регулятора | 15 | Энергонезависимый | <input type="checkbox"/> |
| Список | Парам. регулятор |  | Значение | 0 |
| Ед.измерения | % | | Тип | float |
| Точность | 1 | | Видимый | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Комментарий | Выход | | | |

Рисунок 81 – Настройки параметра Y блока «ПИ АНЛГ Р»


| | | | | |
|--------------|--------------------|---|-----------|-------------------------------------|
| Имя | Руч. выкл/вкл | 13 | Константа | <input type="checkbox"/> |
| Список | Парам. регулятор |  | Значение | FALSE |
| Ед.измерения | | | Тип | bool |
| Точность | 0 | | Видимый | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Комментарий | Установить уставку | | | |

Рисунок 82 – Настройки параметра MANUAL блока «ПИ АНЛГ Р»

| | | | | |
|--------------|------------------|---|-----------|-------------------------------------|
| Имя | Уставка | 7 | Константа | <input type="checkbox"/> |
| Список | Парам. регулятор | | Значение | 0 |
| Ед.измерения | % | | Тип | float |
| Точность | 1 | | Видимый | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Комментарий | Уставка | | | |

Рисунок 83 – Настройки параметра YMAN блока «ПИ АНЛГ Р»

После завершения настройки параметров блока регулятора необходимо линиями связи соединить выход блока «ТСН 1К» и вход блока «ПИ АНЛГ Р» PV. Кроме того, нужно подключить выход с блока блокировки к выходу контроллера АО1 (рис. 84).

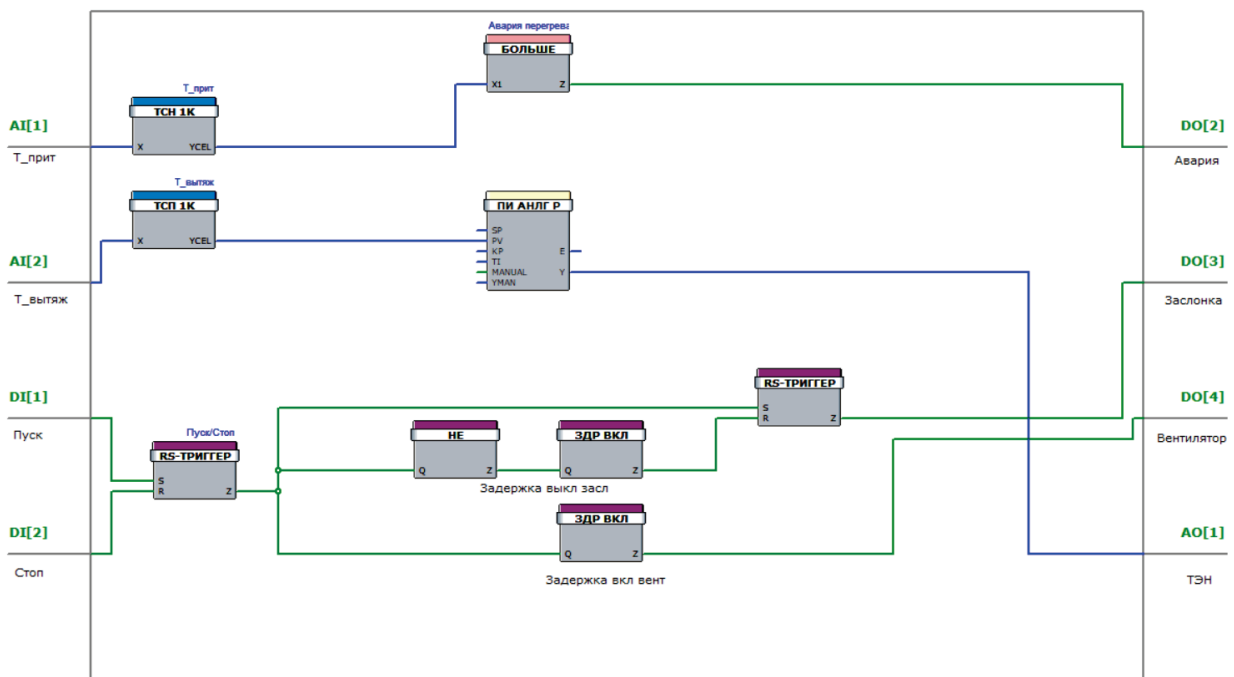


Рисунок 84 – Добавление линий связи

При подключении выхода Y к выходу АО1 появится окно «Подключение Вх/Вых» (рис. 85). В нем необходимо установить флажок около надписи АО1.

После всех проделанных действий алгоритм программы готов.

Следует приступить к компиляции проекта. В ходе этой процедуры в окне сообщений будет выведено три предупреждения (рис. 86). Все они являются незначительными и не будут влиять на правильность выполнения алгоритма.

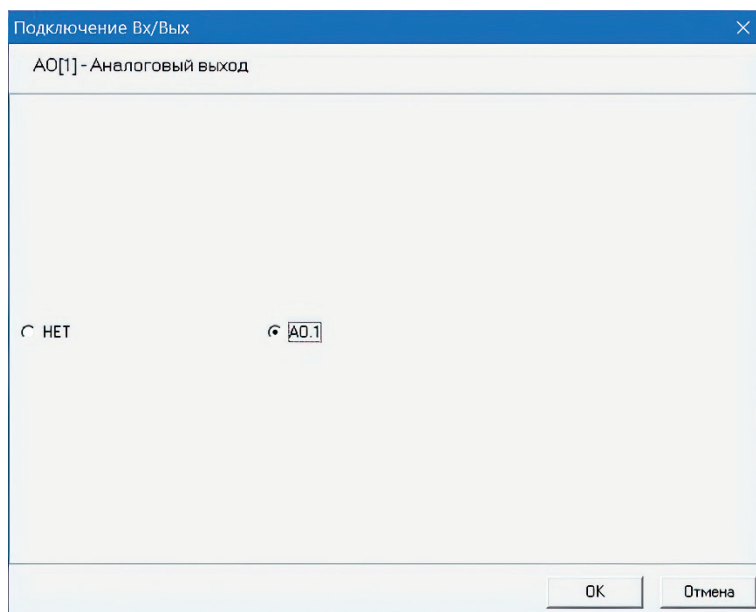


Рисунок 85 – Окно «Подключение Вх/Вых»

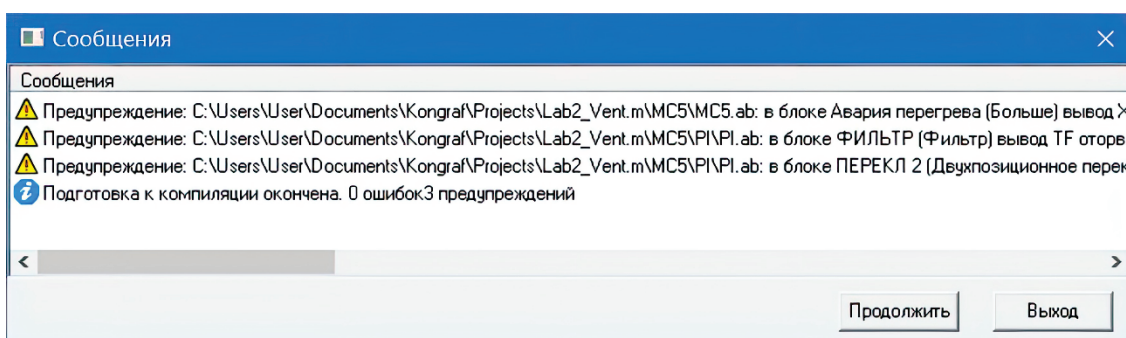


Рисунок 86 – Окно сообщений при компиляции

Как и в предыдущей лабораторной работе, в результате компиляции будет сформирован bin-файл, который с помощью программы КОНСОЛЬ необходимо загрузить в контроллер. Для загрузки программы в контроллер и для дальнейшей работы со стендом на него необходимо подать питание.

После того, как программа загружена в контроллер, для снятия переходной характеристики температуры приточного воздуха в программе КОНСОЛЬ необходимо выполнить несколько действий.

Сначала следует запустить установку кнопкой «Пуск», расположенной в шкафу управления.

Затем в программе КОНСОЛЬ следует перейти в «Панель управления» (контроль входов и выходов) и установить верхний предел для «Аналогового выхода 1» равный 100 % (рис. 87).

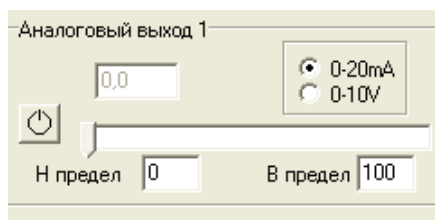


Рисунок 87 – Задание верхнего предела для аналогового выхода

После этого необходимо перейти в окно «Графики» и добавить на поле параметр «Т_прит» из списка «Осн. парам.» (или параметр «Измер. Т_прит» из списка «Парам. регулятор») и «Задание Т_прит» из списка «Парам. регулятор».

Затем произвести настройку шкалы температуры (например, 25 – 60 °С) и шкалы времени (установить флажок «Время компьютера» и выбрать период – 1 секунда).

Далее необходимо нажать кнопку «Запустить» и вернуться на основной экран программы КОНСОЛЬ.

На основном экране в списке «Парам. регулятор» необходимо ввести с клавиатуры задание для температуры приточного воздуха (например, 40 °С), и проверить, что параметр «Руч. выкл/вкл» находится в состоянии «Выкл». Параметры КР и ТІ для получения первого графика необходимо оставить без изменения. Результат описанных действий представлен на рисунке 88.

| Параметр | Значение | Ед. изме |
|-----------------|---------------|----------|
| Рассогласование | -1,3 | °С |
| Задание Т_прит | 40,0 | °С |
| Измер. Т_прит | 41,3 | °С |
| Вык. регулятора | 42,1 | % |
| КР | 2,50 | °С/% |
| ТІ | 300,00 | сек |
| Руч. выкл/вкл | Выкл | |
| Уставка | 0 | % |

Рисунок 88 – Пример задания значений статическим параметрам в списке «Парам. регулятор»

Во время снятия переходной характеристики температуры приточного воздуха стоит внимательно следить за параметром «Руч. выкл/вкл», т.к. он может самостоятельно переключаться в состояние «Вкл». Данный параметр во время снятия разгонной кривой должен быть в состоянии «Выкл».

Через некоторое время будет получен график, представленный на рисунке 89.

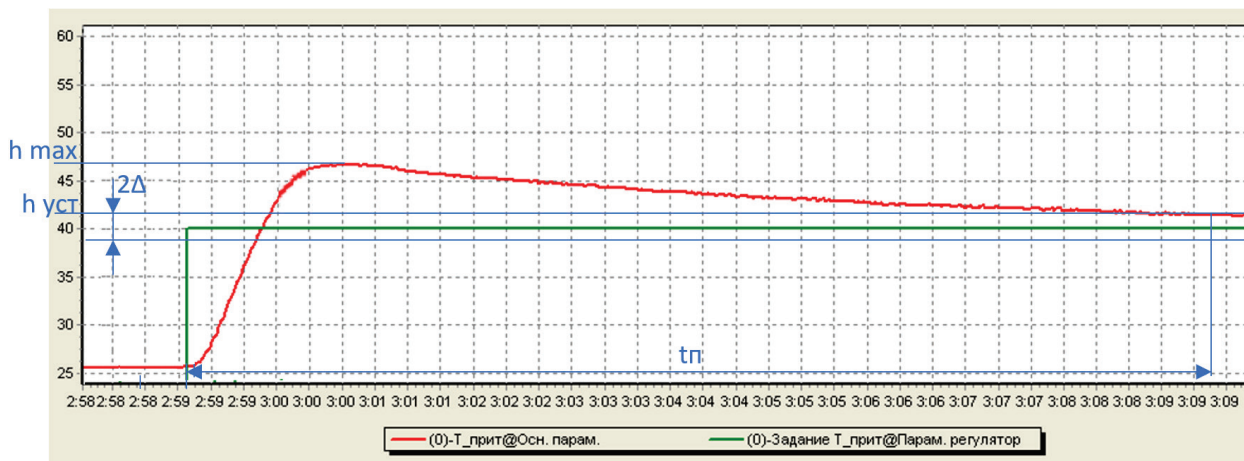


Рисунок 89 – Переходная характеристика температуры приточного воздуха при настройках регулятора $KP=2,50$ [$^{\circ}C/\%$], $TI=300$ [сек]

Как видно из рисунка 89, при таких настройках регулятора:

- время переходного процесса $t_n \approx 590$ с;
- перерегулирование $\sigma = \frac{h_{max} - h_{уст}}{h_{уст} - h_0} \cdot 100 \%$,

$$\sigma = \frac{47 - 41}{41 - 25,5} \cdot 100\% = 38,7 \%$$

Кроме того, наблюдается статическая ошибка регулирования (остаточное отклонение регулируемого параметра от заданного значения после завершения переходного процесса).

Таким образом, качество переходного процесса не удовлетворяет условиям. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о необходимости уменьшить интегральную составляющую.

Чтобы снять новую переходную характеристику (при новых настройках регулятора), необходимо сначала сохранить полученную ранее переходную характеристику (нажать кнопку «Сохранить в файл» и кнопку «Сохранить конфигурацию»). После этого остановить кнопкой «Стоп» запись графика.

Затем перейти на основной экран программы КОНСОЛЬ, где ввести параметру «Задание $T_{прит}$ » значение 0, установить параметру «Руч. выкл/вкл» значение Вкл (значение параметра «Уставка» – 0) и дождаться, когда температура приточного воздуха будет приблизительно равна значению температуры приточного воздуха в начале снятия первой разгонной кривой.

Пока электронагреватель, а вместе с ним и приточный воздух, остывает, можно ввести новое значение параметра TI (например, 50 с).

После того, как значение температуры приточного воздуха установится, следует начать запись нового графика (нажать кнопку «Пуск» в окне «Графики»).

Примерно через 10 с необходимо ввести задание температуры приточного воздуха (оно должно совпадать с предыдущим заданием, т.е. $40^{\circ}C$).

Таким образом, спустя некоторое время будет получен график переходного процесса (рис. 90) с параметрами настройки регулятора (рис. 91).

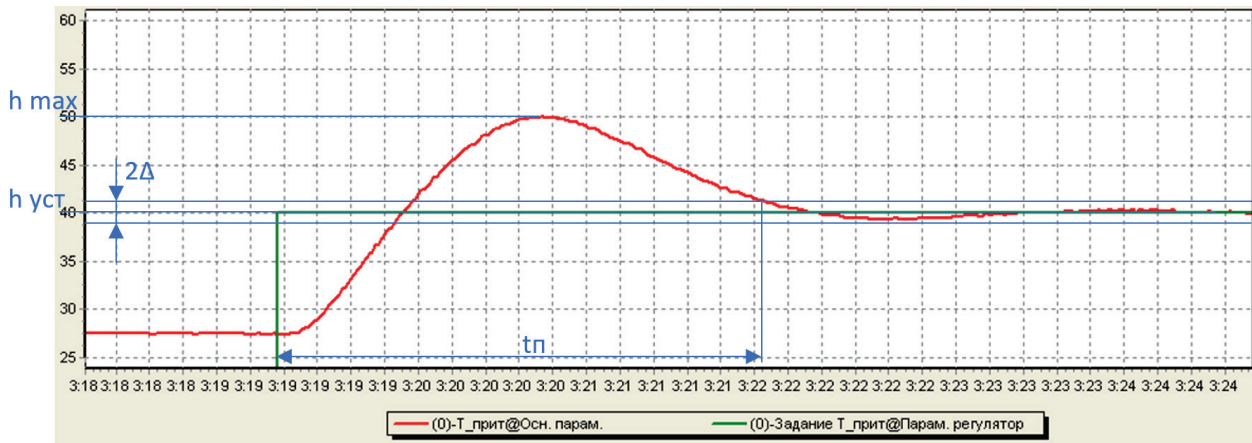


Рисунок 90 – Переходная характеристика температуры приточного воздуха при настройках регулятора $KP=2,50$ [$^{\circ}C/\%$], $TI=50$ [сек]

| Осн. парам. | | Парам. регулятор | |
|---------------------------|--------------|------------------|--|
| Параметр | Значение | Ед. изме | |
| Рассогласование | -0,1 | $^{\circ}C$ | |
| Задание $T_{\text{прит}}$ | 40,0 | $^{\circ}C$ | |
| Измер. $T_{\text{прит}}$ | 40,0 | $^{\circ}C$ | |
| Вых. регулятора | 41,7 | % | |
| KP | 2,50 | $^{\circ}C/\%$ | |
| TI | 50,00 | сек | |
| Руч. выкл/вкл | Выкл | | |
| Уставка | 0 | % | |

Рисунок 91 – Список параметров регулятора

Как видно из графика, при таких настройках регулятора:

- время переходного процесса $t_{\text{п}} \approx 160$ с;
- перерегулирование $\sigma = \frac{h_{\text{max}} - h_{\text{уст}}}{h_{\text{уст}} - h_0} \cdot 100 \%$,

$$\sigma = \frac{50 - 40}{40 - 27,5} \cdot 100\% = 80 \%$$

Таким образом, качество переходного процесса неудовлетворительно из-за перерегулирования. Уменьшить его можно за счет уменьшения коэффициента регулятора KP .

Для снятия новой переходной характеристики температуры приточного воздуха необходимо повторить предыдущие действия.

На рисунке 92 представлен график переходного процесса при значениях регулятора $KP=1,50$ [$^{\circ}C/\%$] и $TI=50$ [сек].

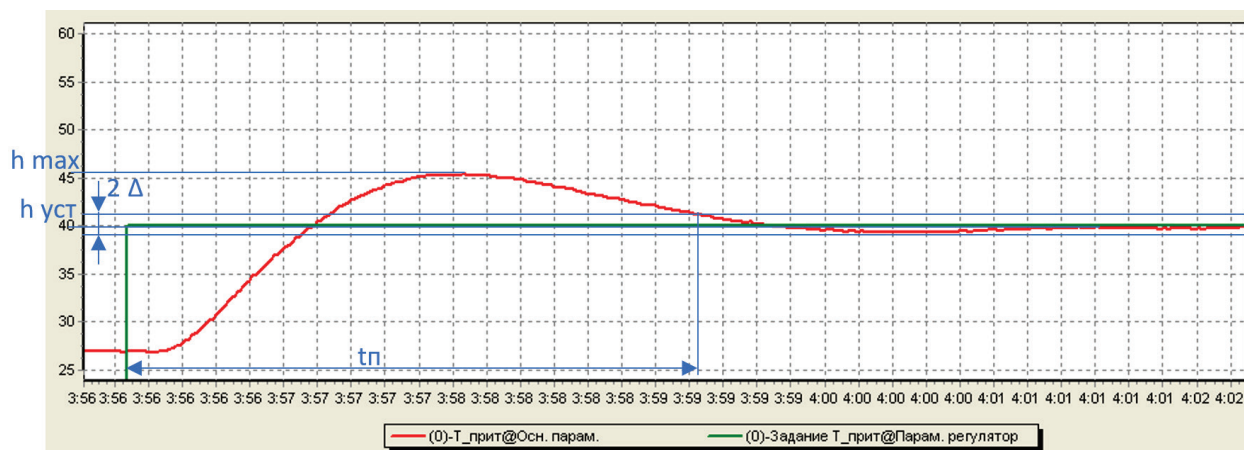


Рисунок 92 – Переходная характеристика температуры приточного воздуха при настройках регулятора $KP=1,50$ [$^{\circ}C/\%$], $TI=50$ [сек]

Как видно из графика, при таких настройках регулятора:

- время переходного процесса $t_p \approx 180$ с;
- перерегулирование $\sigma = \frac{45,5-40}{40-27,5} \cdot 100\% = 44\%$.

С уменьшением коэффициента KP уменьшилось и перерегулирование, но оно все еще не удовлетворяет заданным требованиям. Поэтому следует уменьшить данный параметр еще раз.

Для снятия новой переходной характеристики температуры приточного воздуха повторяются те же действия.

На рисунке 93 представлен график переходного процесса при настройках регулятора $KP=1,0$ [$^{\circ}C/\%$], $TI=50$ [сек].

Как видно из графика, при таких настройках регулятора:

- время переходного процесса $t_p \approx 120$ с;
- перерегулирование $\sigma = \frac{41-40}{40} \cdot 100\% = 8\%$.

Качество переходного процесса удовлетворяет заданным требованиям.

Таким образом, наилучшими из подобранных вручную настроек регулятора являются $KP=1,0$ [$^{\circ}C/\%$], $TI=50$ [сек].

После завершения работы с графиком необходимо перейти на основной экран программы КОНСОЛЬ, где ввести параметру «Задание $T_{прит}$ » значение 0, установить параметру «Руч. выкл/вкл» значение Вкл (значение параметра «Уставка» – 0) и дожидаться, когда температура приточного воздуха будет приблизительно равно значению температуры приточного воздуха в начале снятия первой разгонной кривой.

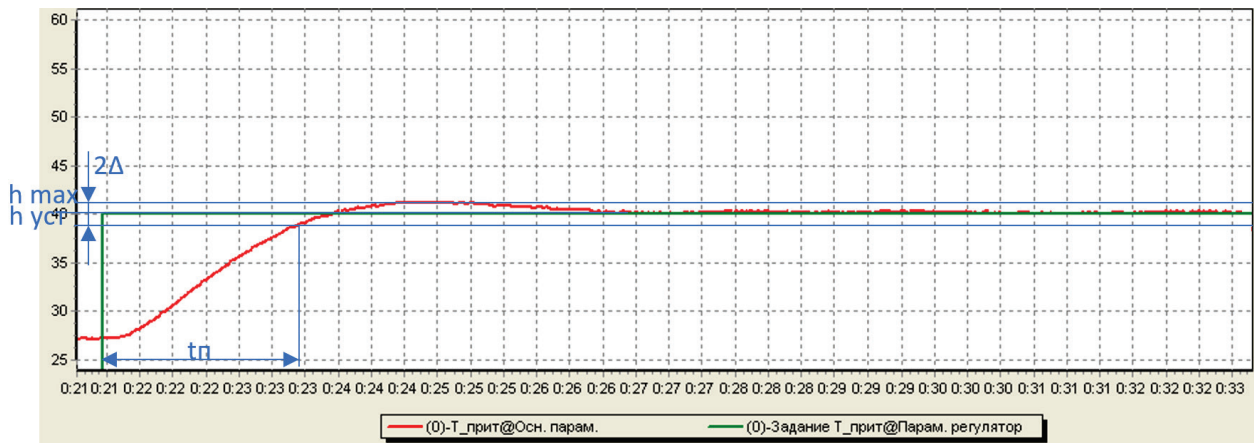


Рисунок 93 – Переходная характеристика температуры приточного воздуха при настройках регулятора $K_P=1,0$ [$^{\circ}\text{C}/\%$], $T_I=50$ [сек]

Далее можно попробовать подобрать наиболее подходящие настройки для регулятора с помощью пакета Matlab.

Для того, чтобы определить передаточную функцию объекта управления (электронагревателя), необходимо при состоянии Вкл параметра «Руч. выкл/вкл» установить значение 100 % параметру «Уставка» и дождаться, когда значение установится на определенном значении.

На рисунке 94 представлены два графика: разгонная кривая температуры приточного воздуха при ступенчатом воздействии изменения мощности электронагревателя от 0 до 100 % и график этого ступенчатого воздействия.

С помощью данных графиков можно найти передаточную функцию объекта управления, которая в дальнейшем будет добавлена в математическую модель в Matlab.

Полученный график температуры соответствует виду апериодического звена 1-го порядка. Поэтому параметры для данной разгонной кривой находятся следующим образом (рис. 95).

Как видно из рисунка 95, коэффициент передачи (усиления) $K'=60$ $^{\circ}\text{C}$, постоянная времени $T=160$ с.

Коэффициент передачи K находится для единичного ступенчатого воздействия. Ступенчатое воздействие в данном случае имеет коэффициент передачи $k=100\%$.

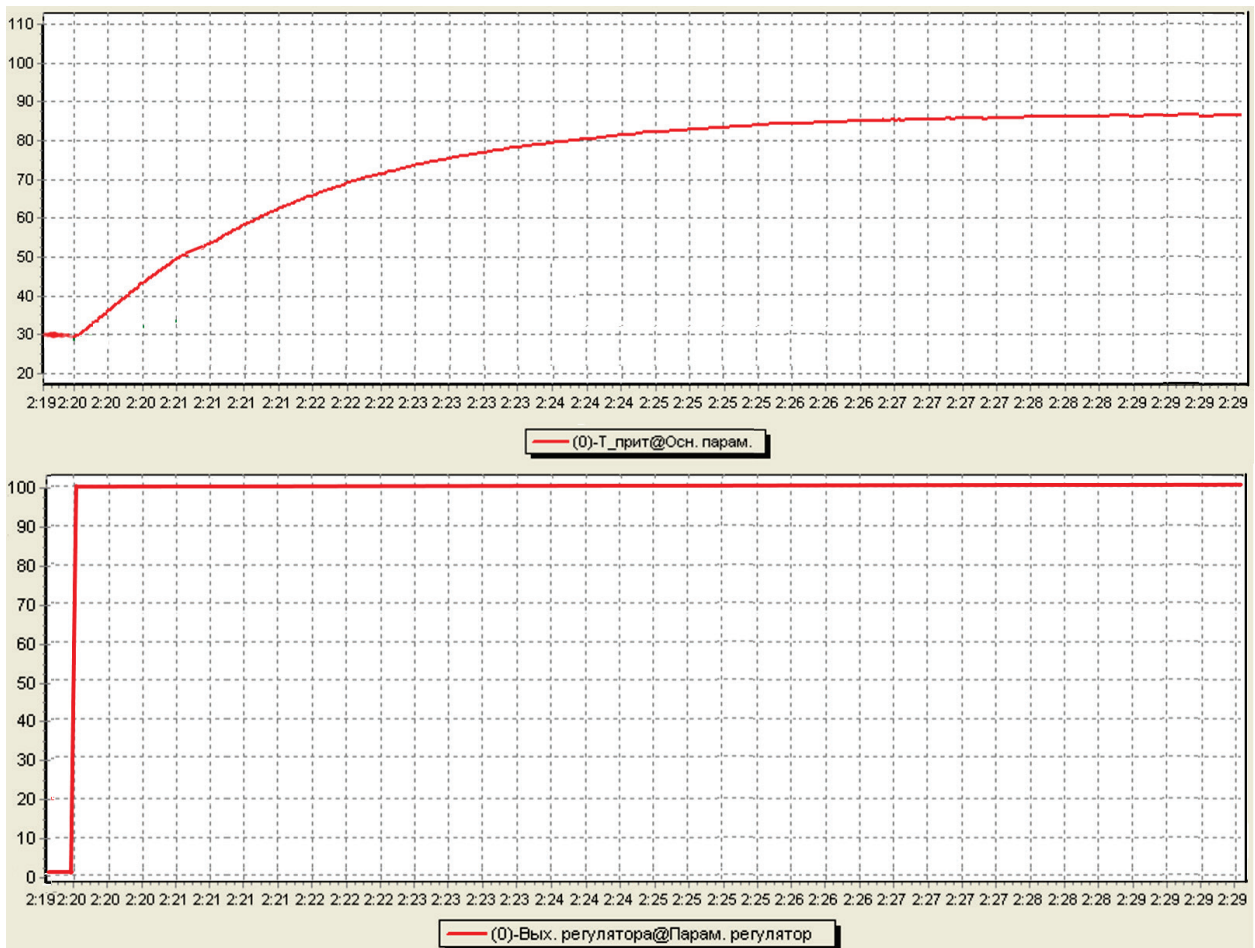


Рисунок 94 – График разгонной кривой температуры при ступенчатом воздействии

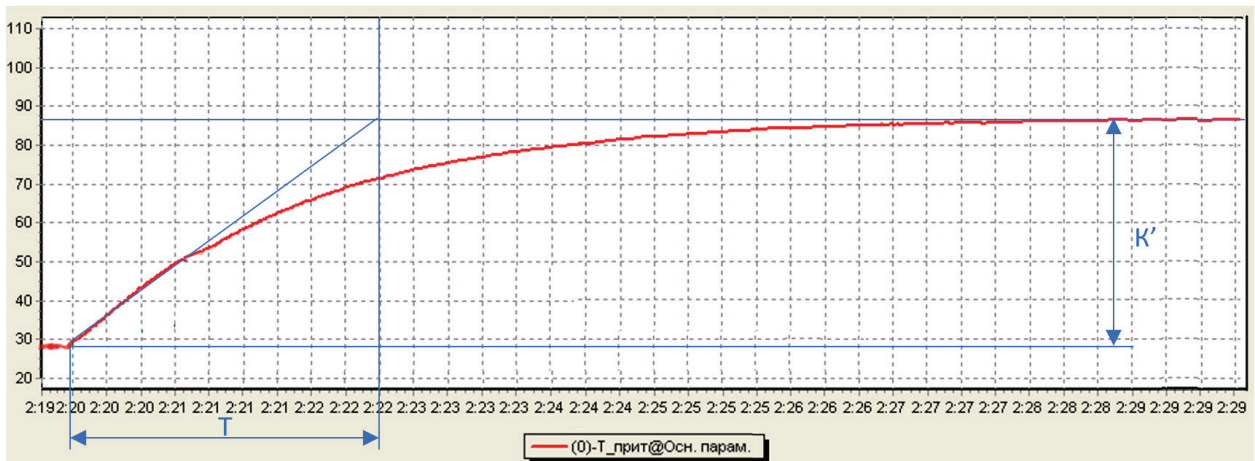


Рисунок 95 – Определение параметров апериодического звена 1-го порядка

Поэтому необходимы следующие вычисления (7):

$$K = \frac{K_t}{k} = \frac{60}{100} = 0,6 \text{ [}^\circ\text{C/\%]}. \quad (7)$$

Таким образом, передаточная функция апериодического звена 1-го порядка для разработки математической модели имеет вид (8):

$$W(p) = \frac{0,6}{160p+1}. \quad (8)$$

После всех проделанных операций необходимо запустить программу Matlab, открыть в ней новое поле для создания модели и библиотеку блоков Simulink. Из этих блоков с использованием полученной передаточной функции объекта управления создается математическая модель (рис. 96).

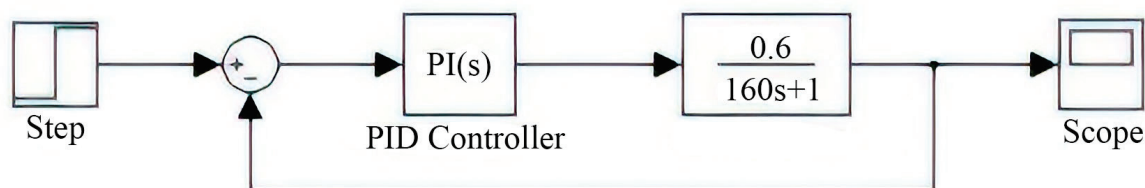


Рисунок 96 – Математическая модель САУ температуры приточного воздуха

Для блока «Step» должны быть заданы настройки с учетом регулирования в отклонениях (рис. 97).

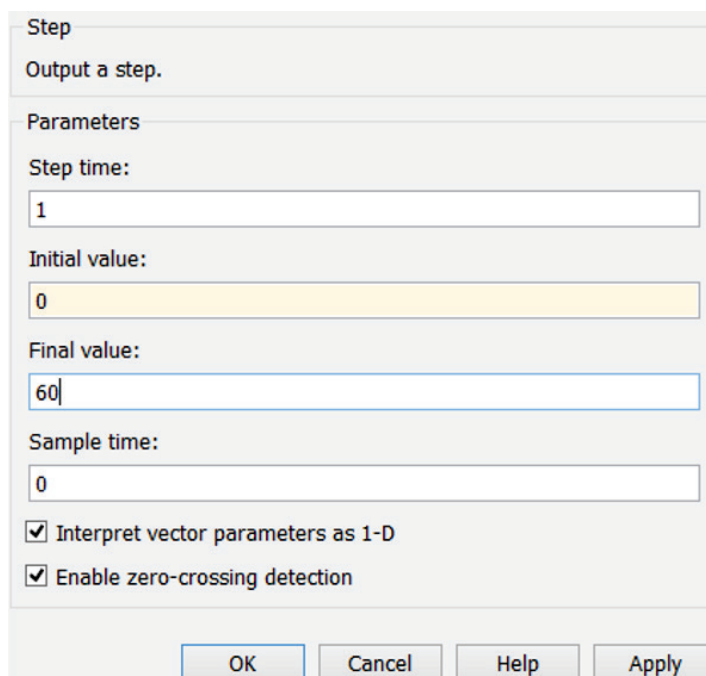


Рисунок 97 – Настройки блока «Step»

Для блока «PI» необходимо в настройках выбрать формулу передаточной функции регулятора (рис. 98).

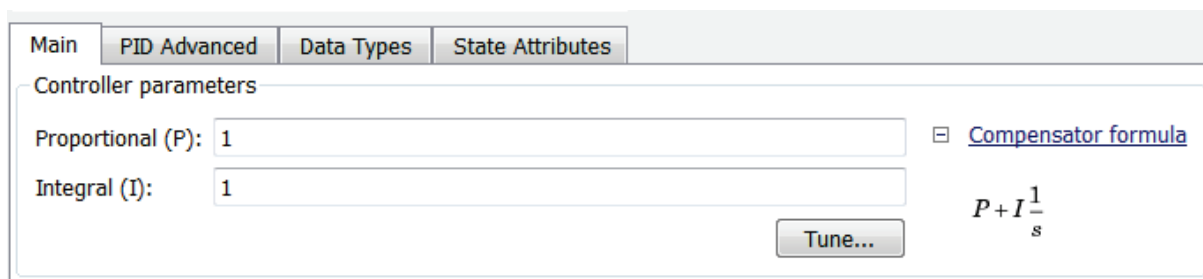


Рисунок 98 – Формула передаточной функции регулятора

Чтобы запустить автоматическую настройку регулятора, необходимо в окне его настроек нажать кнопку «Tune».

В результате автоматической настройки регулятора откроется окно с графиком и найденными параметрами регулятора (рис. 99).

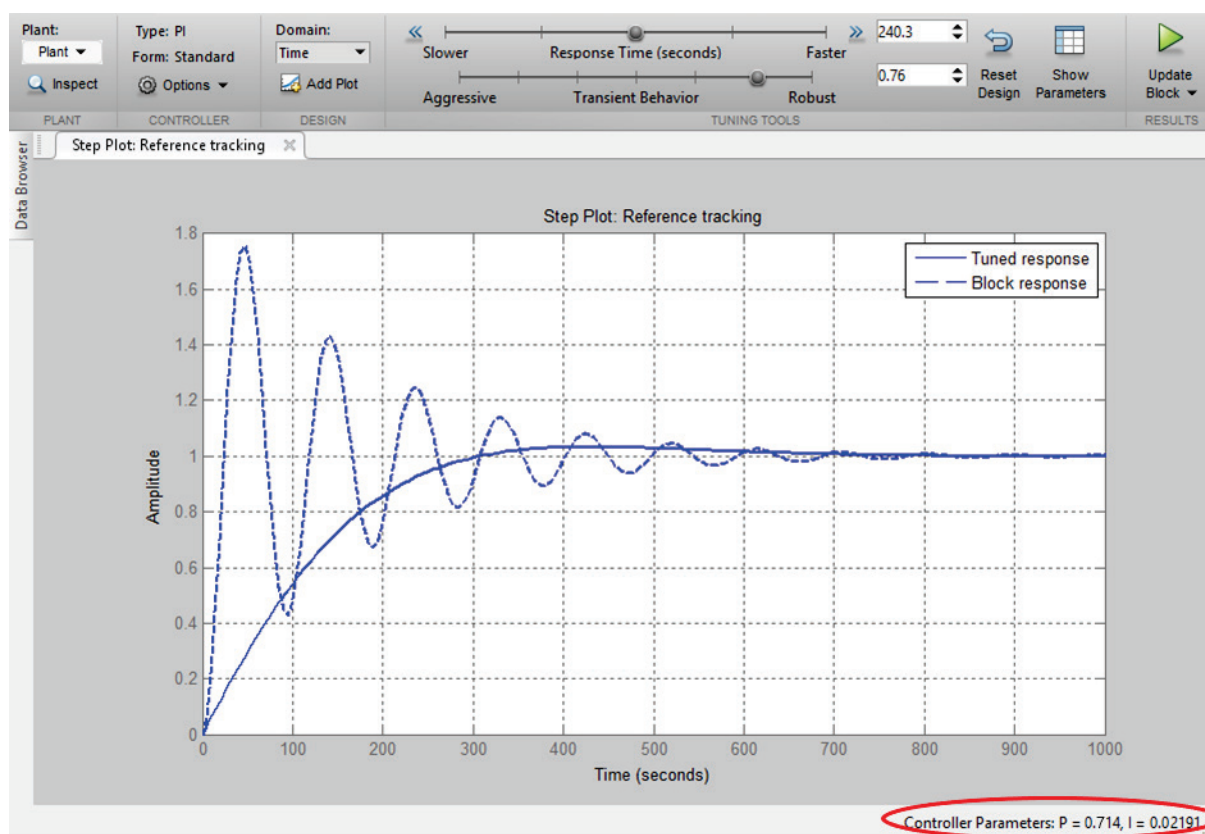


Рисунок 99 – Результат автоматической настройки блока «PI»

Чтобы сохранить полученные настройки регулятора ($P=0,7$, $I=0,02$), необходимо нажать кнопку «Update Block», после чего можно закрыть данное окно.

Результат переходного процесса для математической модели в Matlab представлен на рисунке 100.

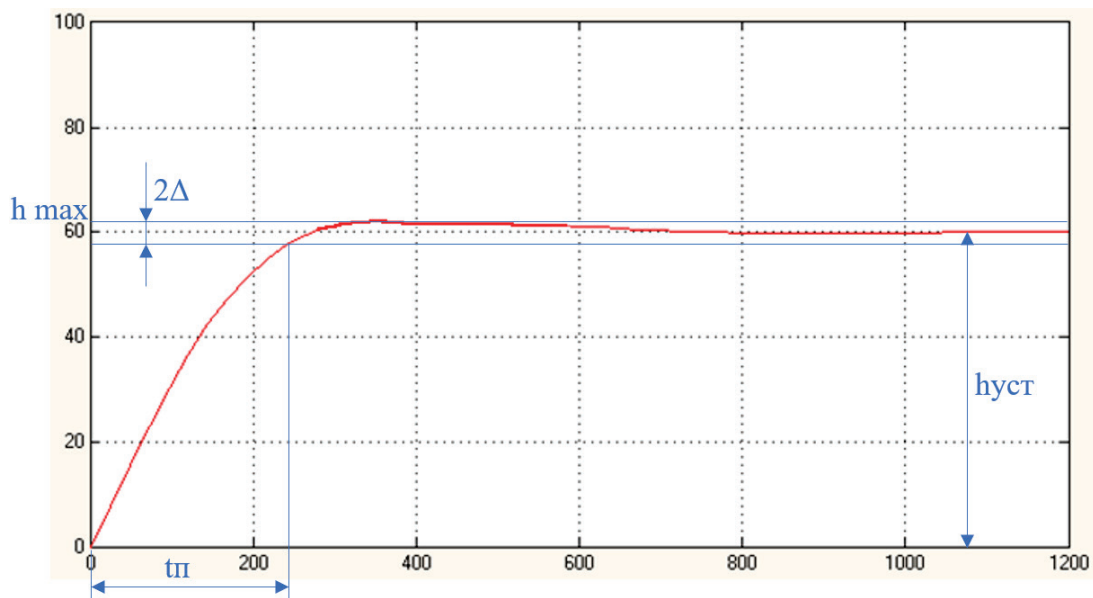


Рисунок 100 – Переходная характеристика построенной математической модели после настройки регулятора

Как видно из графика, при таких настройках регулятора:

- время переходного процесса $t_p \approx 220$ с;
- перерегулирование $\sigma = \frac{h_{max} - h_{уст}}{h_{уст}} \cdot 100\% = \frac{61 - 60}{60} \cdot 100\% = 1,67\%$.

Таким образом, качество переходного процесса удовлетворяет заданным требованиям. Так как для систем вентиляции перерегулирование является более важной характеристикой, чем время переходного процесса, то данные настройки регулятора, полученные в пакете Matlab, являются более подходящими, чем полученные при ручной настройке. Это предположение следует проверить, сняв переходную характеристику температуры приточного воздуха на лабораторной установке с полученными в Matlab настройками регулятора.

В среде КОНГРАФ передаточная функция ПИ-регулятора имеет следующий вид (9):

$$W(p) = KP \cdot \left(1 + \frac{1}{TI \cdot p}\right). \quad (9)$$

В Matlab была выбрана передаточная функция ПИ-регулятора следующего вида (10):

$$W(p) = P \cdot \left(1 + \frac{I}{p}\right) \quad (10)$$

и найдены коэффициенты $P=0,7$ и $I=0,02$.

Чтобы пересчитать параметры регулятора из Matlab для КОНГРАФ, необходимо выполнить некоторые преобразования (11, 12):

$$KP \cdot \left(1 + \frac{1}{TI \cdot p}\right) = P \cdot \left(1 + \frac{I}{p}\right), \quad (11)$$

$$KP = P, \quad 1 + \frac{1}{TI \cdot p} = 1 + \frac{I}{p}, \quad (12)$$

следовательно (13, 14),

$$KP = P = 0,7 \text{ (}^\circ\text{C/\%)}, \quad (13)$$

$$TI = \frac{1}{I} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ (с)}. \quad (14)$$

После введения рассчитанных настроек регулятора был получен следующий график (рис. 101).

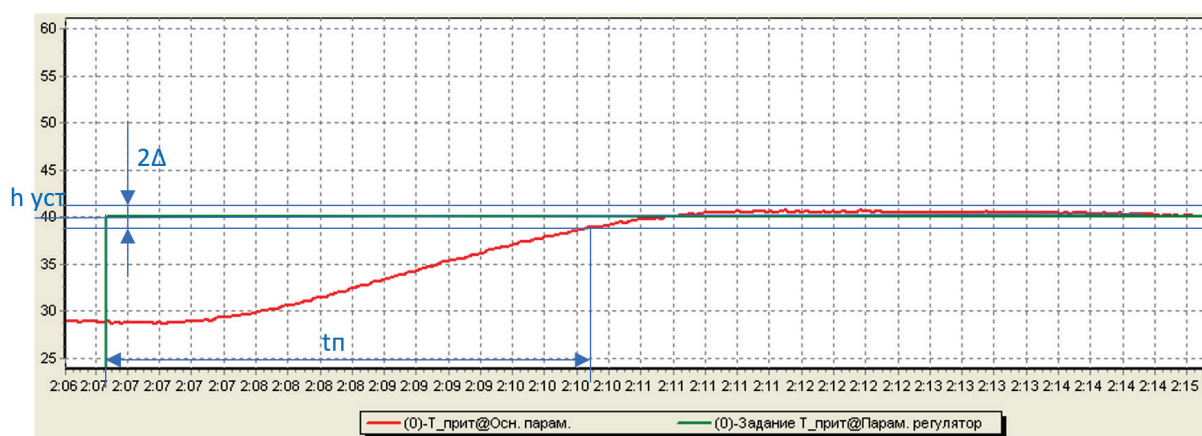


Рисунок 101 – Переходная характеристика температуры приточного воздуха при настройках регулятора $KP=0,7$ [$^\circ\text{C}/\%$], $TI=50$ [сек]

Как видно из полученного графика:

- время переходного процесса $t_n=156$ с;
- перегуливание σ меньше установленных границ (отсутствует).

3.5. Контрольные вопросы

1. Что такое аналоговый регулятор?
2. Правила настройки ПИ-регулятора.
3. Как и почему необходимо произвести пересчет подобранных настроек регулятора в Matlab при применении их в ИПС КОНГРАФ?
4. Как отличается график переходного процесса при использовании релейного регулятора и при использовании ПИ-регулятора?
5. Когда необходимо использовать релейный регулятор, а когда – аналоговый?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, следует сделать следующие выводы о релейных и ПИ-регуляторах.

Двухпозиционные регуляторы довольно просты в программной реализации. Кроме того, для релейного регулирования из дополнительного оборудования достаточно иметь только электромеханическое реле, в отличие от аналоговых регуляторов, требующих использования дорогостоящего оборудования, например, частотных преобразователей.

Основным недостатком таких регуляторов является постоянный колебательный процесс. Для регулирования температуры в помещении это является существенным недостатком, поскольку одной из основных задач систем вентиляции и кондиционирования является поддержание постоянства требуемого микроклимата в помещении, наиболее важным из параметров которого является температура воздуха. Однако, если суметь подобрать для срабатывания реле такие граничные значения температур, при которых колебательный процесс не будет выходить за установленные границы (например, $\pm 1^{\circ}\text{C}$), то такой регулятор сможет удовлетворять требованиям к системе регулирования. Но при слишком частом срабатывании реле довольно быстро выйдет из строя.

Использование же автоматического ПИ-регулятора позволяет достичь требуемого качества переходного процесса без колебательности. В среде КОНГРАФ имеется библиотека с готовыми блоками аналоговых регуляторов, поэтому разработка программ с такими регуляторами в данной среде не является затруднительной.

Недостатком таких регуляторов является сложность их настройки в сравнении с релейными регуляторами. Но данная проблема относительно нетрудно решается с помощью подбора коэффициентов регулятора с помощью математического моделирования в Matlab.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Контроллеры МС5. Руководство по эксплуатации. – ОАО «Московский завод тепловой автоматики». – 36 с. – URL: <http://alshch50.narod.ru/Datasheets/Kontar/МС5.pdf> (дата обращения: 15.05.2021). – Текст: электронный.
2. КОНГРАФ // Московский завод тепловой автоматики : [сайт]. – 2015. – URL: <https://www.mzta.ru/program/kongraf> (дата обращения: 15.01.2022). – Текст: электронный.
3. Воропанова, М. А. Описание промышленного контроллера КОНТАР и среды разработки КОНГРАФ / М. А. Воропанова // Материалы IV Международной научно-практической конференции обучающихся и преподавателей. В 2 ч. ; сост. М. С. Липатов, Г. А. Морозов ; под общ. ред. Т. Ю. Коротковой. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. – Ч. 2 – С. 21 – 25. – Текст: непосредственный.
4. КОНСОЛЬ // Московский завод тепловой автоматики : [сайт]. – 2018. – URL: <https://www.mzta.ru/program/konsol> (дата обращения: 25.02.2022). – Текст: электронный.
5. Николенко, С. А. Автоматизация систем управления: учебное пособие / С. А. Николенко, Д. С. Цокур. – Краснодар: «КРОН», 2015. – 119 с. – URL: <http://kubsau.ru/upload/iblock/66b/66b98c3f69450d7d0b0fac923ba9d2da.pdf#2>, свободный (дата обращения: 10.10.2021). – Текст: электронный.
6. ГОСТ 2.702 – 2011 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Правила выполнения электрических схем = Unified system for design documentation. Rules for presentation of electric schemes : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 августа 2011 г. № 211-ст : введен вместо ГОСТ 2.702 – 75 : дата введения 01.01.2012 : дата актуализации 01.01.2021 / подготовлен ВНИИНМАШ АНО НИЦ CALS-технологий Прикладная логистика – Москва : Стандартиформ, 2011. – 22 с. – Текст: непосредственный.
7. Функциональная схема автоматизации // Быстрые проекты : [сайт]. – 2018. – URL: <https://lapshinvr.ru/proect-ppo/fsa.html> (дата обращения: 14.03.2021). – Текст: электронный.
8. ГОСТ 21.208 – 2013 Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах = System of design documents for construction. Industrial process automation. Instrumentation symbols for use in diagram : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 декабря 2013 г. № 2311-ст : введен вместо ГОСТ 21.404 – 85 : дата введения 01.11.2014 : дата актуализации текста 01.01.2021 : дата актуализации описания 01.07.2023 / подготовлен Открытым акционерным обществом «Ассоциация «Монтажавтоматика» – Москва : Стандартиформ, 2020. – 34 с. – Текст: непосредственный.

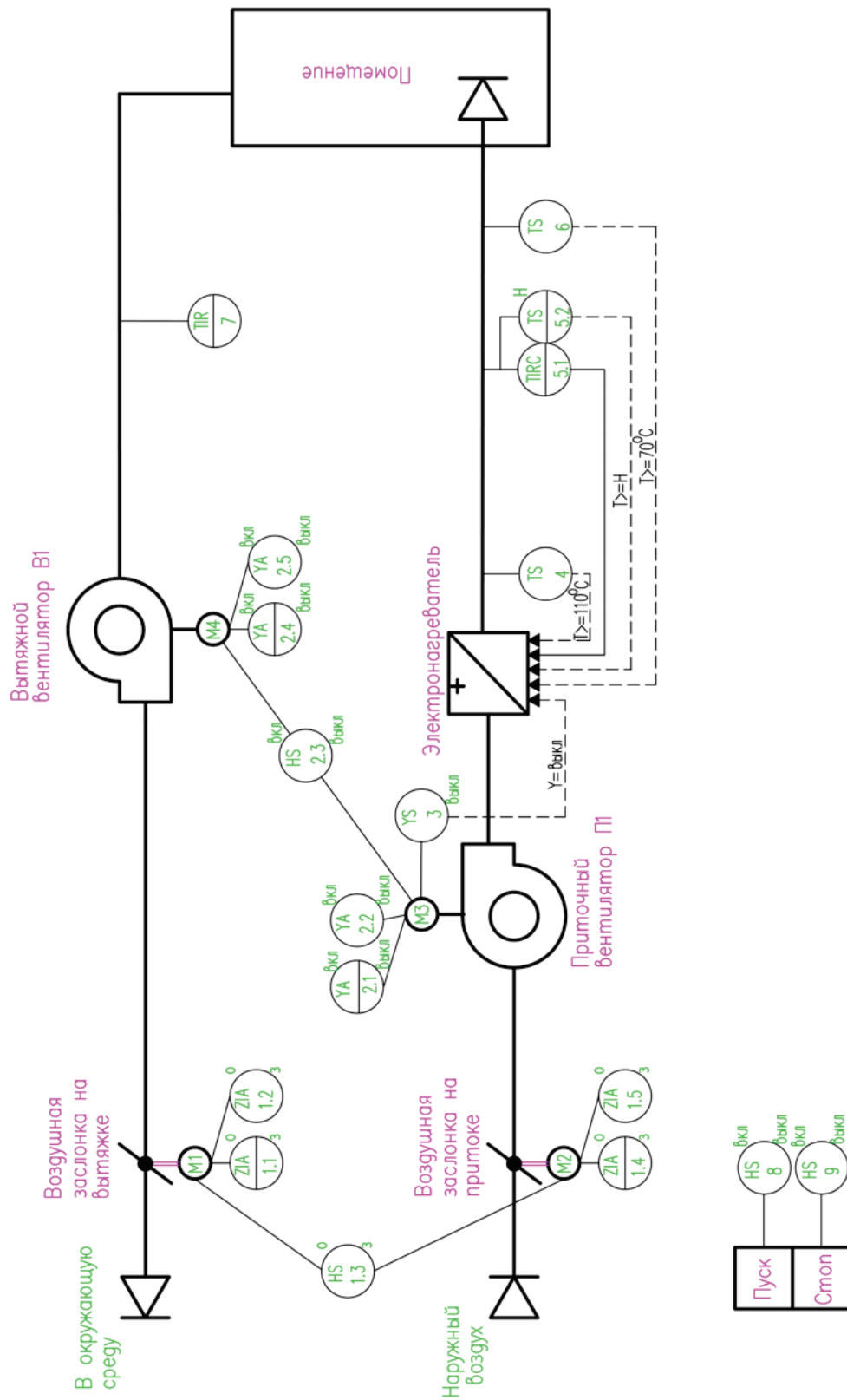
9. ГОСТ 2.701-2008 Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению = Unified system for design documentation. Diagrams. Kinds and types. General requirements for fulfillment: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 декабря 2008 г. № 702-ст : введен вместо ГОСТ2.701 – 84 : дата введения 01.07.2009 : дата актуализации текста 01.06.2021 : дата актуализации описания 01.07.2023 / подготовлен ВНИИНМАШ АНО НИЦ CALS-технологий Прикладная логистика – Москва : Стандартиформ, 2009. – 16 с. – Текст: непосредственный.

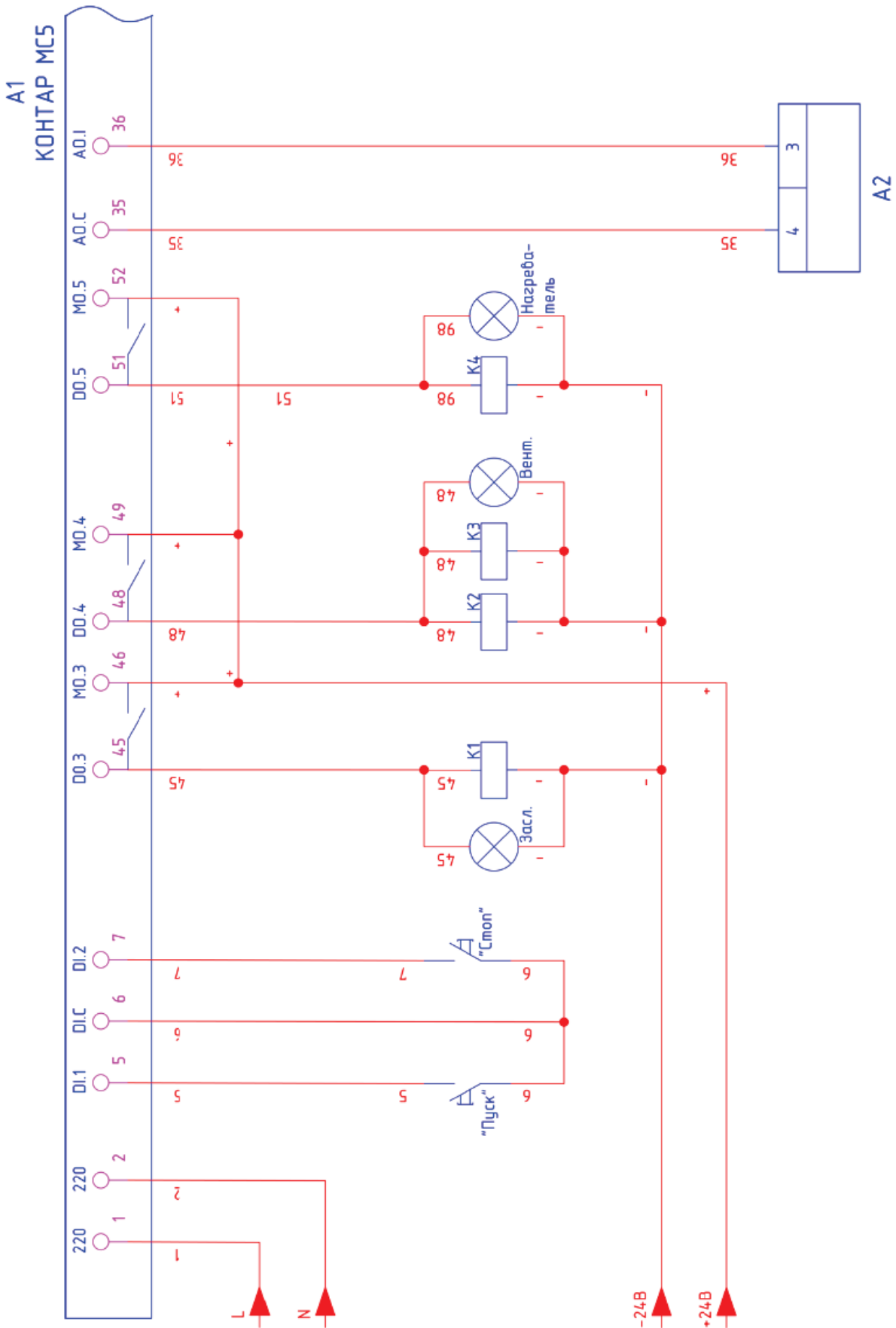
10. Твердотельное реле: принцип работы // СОЮЗ-ПРИБОР : [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.souz-pribor.ru/articles/tverdotelnoe-rele-printsip-raboty/> (дата обращения 10.05.2024). – Текст: электронный.

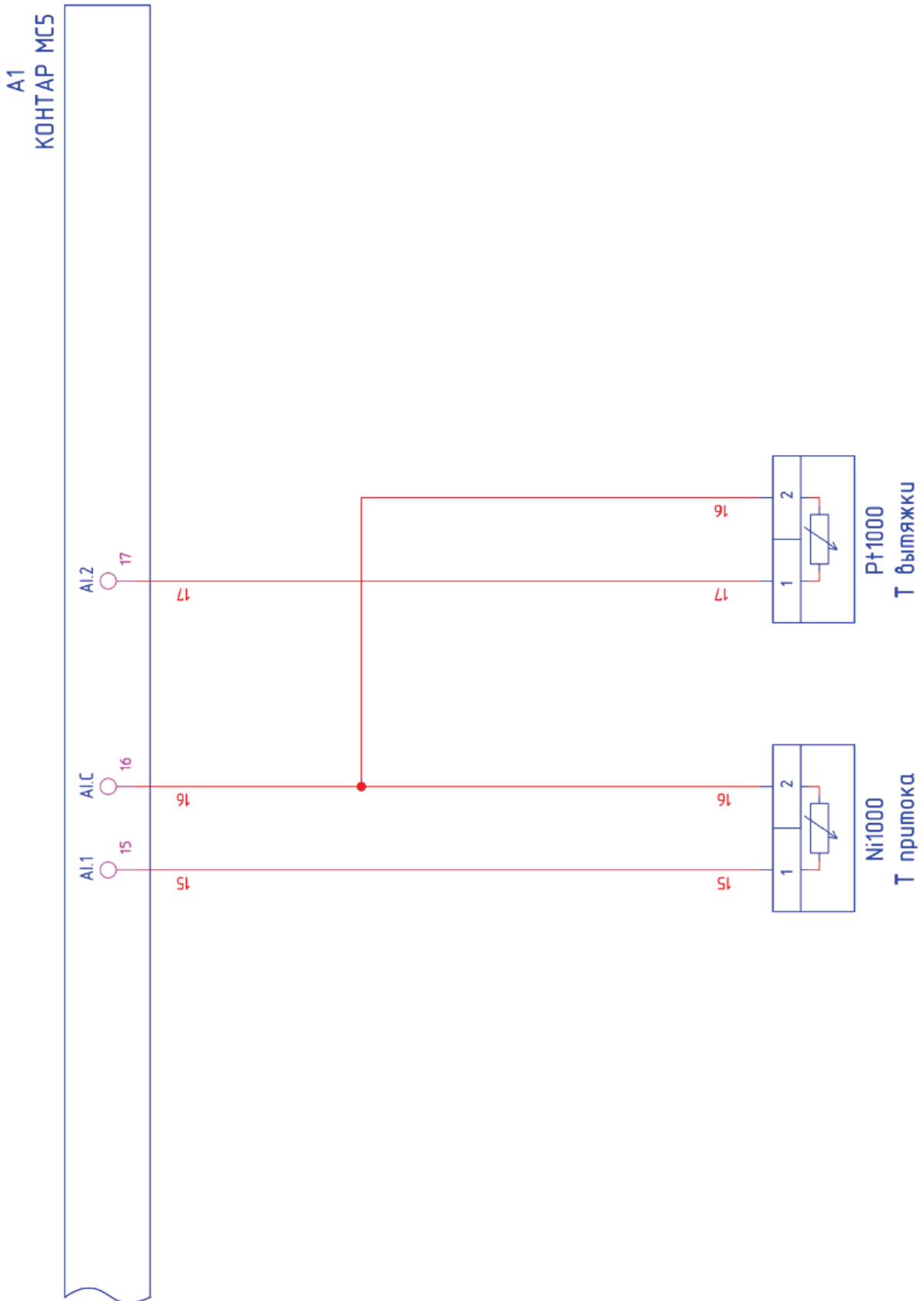
11. Новиков, А. И. Моделирование систем управления: практикум / А. И. Новиков, М. А. Воропанова. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 46 с. Текст: непосредственный.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Функциональная схема автоматизации лабораторного стенда.







Учебное издание

**Новиков Александр Игоревич
Дятлова Елена Павловна
Новикова Мария Андреевна**

**Программирование и наладка
контроллеров для систем
автоматизации и управления
Контроллер КОНТАР**

Учебно-методическое пособие

Редактор и корректор Д. А. Романова
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2024 г., поз. 5075

Подписано к печати 17.09.2024. Формат 60x84/16.

Бумага тип № 1.

Печать офсетная. Печ.л. 4,9.

Уч.-изд. л. 4,9.

Тираж 30 экз.

Изд. № 5075.

Цена «С».

Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.