

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Энергетический институт

Направление 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривода и электрооборудования (ЭПЭО)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование и синтез автоматизированной системы управления температурным режимом шкафов автономного освещения
УДК 621.316.344

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5А	Ким Д.Э.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Шилин А.А.	Д.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав.кафедрой ЭПЭО доцент	Дементьев Ю.Н.	К.Т.Н.		

Содержание

Введение	10
1 Обзор литературы.....	12
2 Объект исследования	14
2.1 Шкаф управления освещением	14
2.2 Задачи управления температурным режимом объекта автоматизации.	16
2.3 Комплекс технических средств автоматизированной системы управления температурным режимом.....	17
2.4 обмен данными между уровнями системы.	25
3 Анализ и синтез управления температурным режимом. Разработка метода удаленной настройки объекта автоматизации	28
3.1 Анализ технологических переменных, управляющих воздействий, контроля и управления.....	28
3.2 Метод настройки и автоматизации удаленной замкнутой системы.....	29
4 Моделирование системы управления в среде «CoDeSys» для реализации эксперимента и настройки удаленного объекта.....	37
5 Разработка математических моделей контура температуры для проведения эксперимента средствами «АКИАР».....	48
5.1 Отладка программы в среде АКИАР для проведения экспериментов ...	48
5.2 Алгоритм проведения эксперимента на исследуемом объекте, автоматизированной системе управления температурным режимом.....	53
5.3 Результаты проведенных исследований и экспериментов.....	54
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	63
6.1 Планирование научно-исследовательских работ	63
6.2 Смета затрат.....	65
6.3 Смета затрат на оборудование.....	68
6.4 Экономическая эффективность проекта.....	69
7 Социальная ответственность.....	73
Заключение.....	89
Список публикаций студента.....	92
Список использованных источников.....	93
Приложение А	96

Введение

В наши дни для управления освещением на улице и прилегающим к домам территории используют шкафы управления освещением. Они являются современными устройствами управление наружным электроосвещением, предназначенными для диспетчеризации работы осветительных сетей и управления освещением. Учитывая, что шкафы управления часто размещают в неотапливаемых местах – подвалах или прямо на улице. Существуют несколько факторов, которые отрицательно сказываются на работу отдельных элементов автоматики и модулей связи и вследствие всего шкафа в целом, такие как низкие температуры и повышенная влажность. Эта проблема обусловлена тем что нижний предел диапазона рабочих температур модулей связи и другой электронной аппаратуры и ее элементов составляет $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Нормальными климатическими условиями являются: температура $+25\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность 45...80 %, атмосферное давление $(8,3... 10,6) \cdot 104\text{ Па}$ (630...800 мм рт. ст.), отсутствие активных веществ в окружающей атмосфере». Нижний предел температуры в котором могут эксплуатироваться электронная аппаратура и ее элементы в среднем составляет -25°C . [1]

Таким образом, следует обратить особое внимание на автоматизированную системы управления температурным режимом в шкафах управления освещением, позволяющей корректно осуществлять требуемые задачи при низких температурах. (включать - отключать освещение улиц, регулировать энергопотребление системы, контролировать целостность оборудования и несанкционированный

доступ, вовремя сигнализировать оперативному персоналу об аварийных ситуациях в сети и т.д.) Также присутствует проблема настройки динамических параметров системы, так как динамика изменения температуры шкафа неизвестна и объект расположен в труднодоступных местах. Целью выпускной квалификационной работы является – удаленная организация эксперимента и настройка динамических параметров системы на объекте управления, в программной среде CoDeSys, АКИАР

С появлением современных автоматизированных систем управления технологическими процессами АСУТП, реализованных на программируемых логических контроллерах (ПЛК), для специалистов стали доступны удобные инструменты, позволяющие значительно упростить процесс настройки динамических параметров замкнутых систем. Возможности использования ПЛК позволяют создавать технические решения, позволяющие не только эффективно организовать процесс настройки, но и выполнять научные исследования на удаленных действующих объектах управления. Проблема реализации задач контроля и настройки удаленных объектов управления весьма актуальна и имеет опубликованные решения в научной литературе. В данной работе предложено решение, доступное специалистам знакомым со CoDeSys - средой программирования ПЛК на технологических языках программирования, которые более доступны и понятны специалистам в области автоматизированных систем управления.

1 Обзор литературы

В современных условиях развития ИТ-технологии и разработок в области автоматизации, когда для специалистов существует широкий выбор средств для моделирования систем управления. Присутствует необходимость в поиске оптимальных методов настройки и организации экспериментов на различных объектах исследования что позволяет в системах автоматики организовать контроль над объектом управления: контролировать различные параметры (скорость, температуру и пр.) с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса. Тема настройки ПИД-регуляторов довольно обширна. Существует множество работ посвященной этой проблематике. И, несмотря на то, что исследования по этой тематике ведутся уже довольно продолжительное время, методик однозначно определяющих эффективную настройку контура управления с ПИД-регулятором в настоящее время нет. Этот результат является следствием того, что все модификации ПИД-регуляторов «...были получены чисто эвристическим путём...» и что «...достаточно убедительное формальное доказательство целесообразности их применения ... до сих пор получить не удалось» [2].

Получить приемлемое для практических задач решение нейтральных или неустойчивых объектов управления с учетом нелинейностей возможно при использовании специализированных математических пакетов, выполняющих рутинные операции подбора коэффициентов регулятора, при которых обеспечиваются требуемые параметры качества переходного процесса. Эта задача и пути ее решения исследуются в работе [3] средствами MATLAB обладающим мощными инструментами настройки, позволяющими избавить разработчика от рутинных операций расчёта и/или подбора коэффициентов регуляторов в контуре управления.

Однако данный инструментарий требует от проектировщика обширных знаний в области методов вычислительной математики и теории оптимизации систем, ведь метод и алгоритм настройки выбирает сам проектировщик. Настройки, установленные по умолчанию, не всегда могут разрешить проблему. В работе [4] предлагается использование встроенного web-сервера в рамках достаточно мощных ПЛК, где используется CGI технология передачи данных в XML формате. В результате возможно реализовать доступный web-интерфейс отображения данных и управление удаленным объектом, однако для использования данной технологии требуются знания в области верстки web-страниц и CGI технологии программирования серверов. Подобная задача удаленного контроля рассматривается в [5], где задачи, требующие точности измерения в реальном времени, решена с помощью использования программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Такой подход требует глубоких знаний в области схемотехники. Еще одно техническое решение [6] использует непосредственное программирование микропроцессора, такая реализация подобных систем доступна системным программистам.

2 Объект исследования

2.1 Шкаф управления освещением

Объектом исследования является температурный контур в шкафу управления освещением (ШУО). ШУО является современным электротехническим устройством для программного управления работой светильников и автоматической диагностики оборудования уличного освещения. Шкаф управления освещением представлен на рисунке 2.

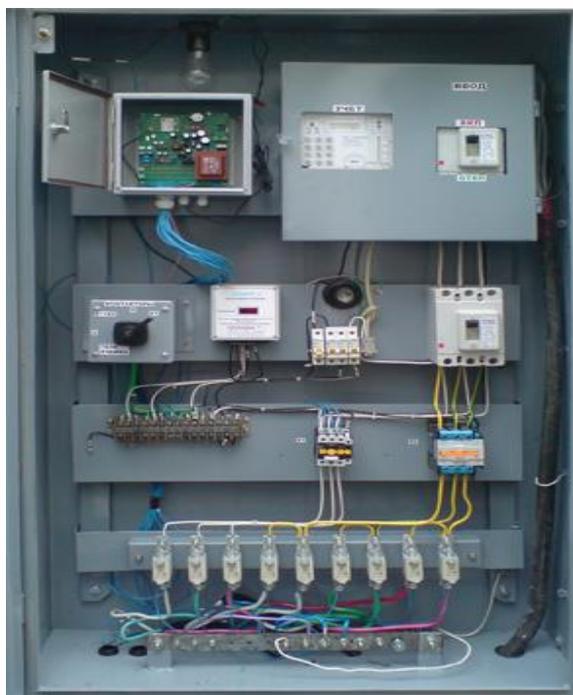


Рисунок 1 – шкаф управления освещением.

ШУО рассчитан на длительную непрерывную эксплуатацию в автоматическом режиме и не требует вмешательства обслуживающего персонала в процесс его работы. ШУО осуществляет адресное управление работой отдельного светильника или группы светильников с передачей команд по электрической сети (включение, выключение, снижение интенсивности светового потока на 50%) соответствии с запрограммированным расписанием или по команде диспетчера.[7]

Существуют множество различных вариантов управления шкафов освещения, которые могут решать задачи любого уровня – начиная от работы автоматического управления наружным освещением в ручном режиме, по сложнейшим графикам или с помощью фотодатчиков, и до работы по астрономическому календарю.

Современная система управления уличным освещением:

- Светодиодные светильники
- Автоматическое включение/отключение по заданному алгоритму
- Оперативный контроль за работой освещения и потреблением электроэнергии
- Экономия до 80% потребленной электроэнергии на цели освещения
- Автоматизированное рабочее место с визуализацией текущего состояния и величины потребления электрической энергии на цели освещения
- Контроль и управление из любой точки мира с возможностью изменения алгоритма включения/отключения в установленные дни (рис.2)

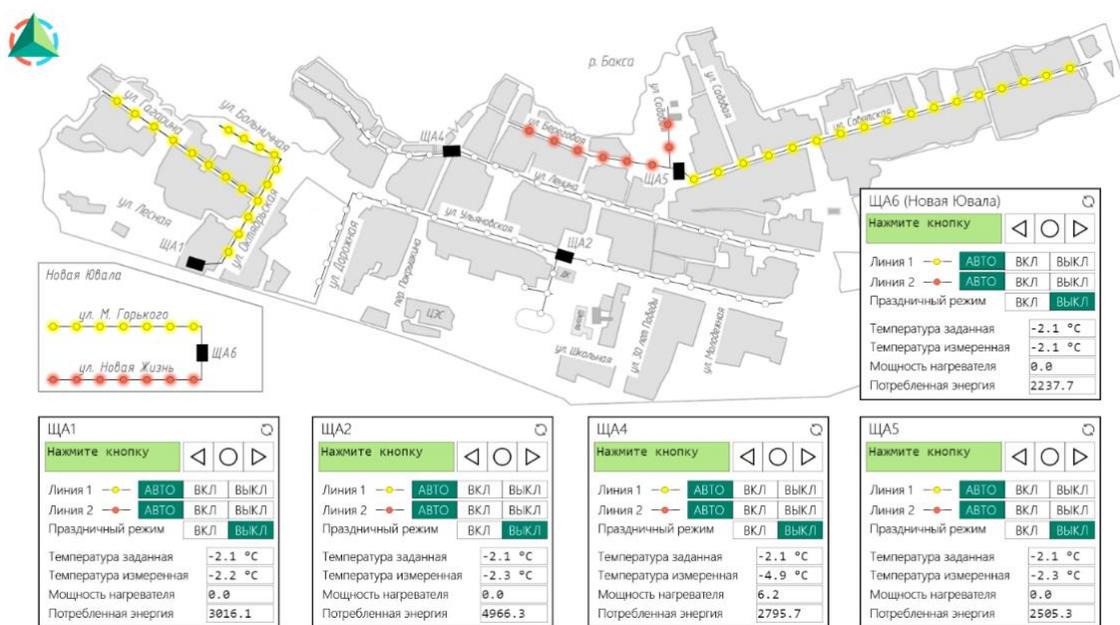


Рисунок 2 – визуализация контроля и управления ШУО.

Контроль и управление шкафами управления освещением осуществляется с помощью удаленно с помощью GSM модемов.

Для решения поставленных задач шкафы управления состоят из различных приборов, устройств и микросхем таких как: контакторы, реле, автоматические выключатели, ПЛК с GSM/GPRS-модем позволяющий организовать беспроводной канал связи, блоки питания, приборами учета электрической энергии, устройствами защиты от перегрузок, датчики, астрономические реле, предназначенное для включения-выключения освещения в моменты захода и восхода солнца с ежедневной автоматической корректировкой в течении года., При программировании реле вводятся текущее время, географические координаты местности и часовой пояс, время ночного перерыва (отключение освещения ночью в целях экономии электроэнергии).

Нормальная работа устройств управления, измерения, регулирования сигнализации и связи будет обусловлена поддержанием температуры на заданном уровне.

Температура окружающего воздуха при наружной установке: Температура окружающего воздуха не должна быть более 40°C, а средняя температура за 24 ч - не более 35 °С. Нижний предел температуры окружающего воздуха - минус 25 °С (для умеренного климата). [8]

2.2 Задачи управления температурным режимом объекта автоматизации

Основными задачами управления является обеспечение климатических условий в шкафу управления для исключения нескольких факторов, которые отрицательно влияют на работу отдельных элементов и всего шкафа автоматического освещения, таких как повышенная

влажность и низкие температуры. Для качественного поддержания температуры необходимо произвести идентификацию объекта, настройку и расчет параметров регулятора, так как недостаточно глубокие знания регулируемого процесса не позволяют качественно настроить систему управления процессом

С появлением современных автоматизированных систем управления технологическими процессами АСУ ТП, реализованных на программируемых логических контроллерах (ПЛК), для специалистов стали доступны удобные инструменты, позволяющие значительно упростить процесс настройки динамических параметров замкнутых систем. Возможности использования ПЛК позволяют создавать технические решения, позволяющие не только эффективно организовать процесс настройки, но и выполнять научные исследования на удаленных действующих объектах управления. Проблема реализации задач контроля и настройки удаленных объектов управления весьма актуальна. Процедура настройки контура связана с выполнением эксперимента на объекте управления с целью оценки динамических свойств объекта. Обычно требуется получить переходную характеристику. Задачу организации выполнения эксперимента решается средствами программирования ПЛК.

2.3 Комплекс технических средств автоматизированной системы управления температурным режимом.

Для обеспечения высокой надежности программно-аппаратный комплекс должен состоять как минимум из трех уровней представленных на рисунке 3.

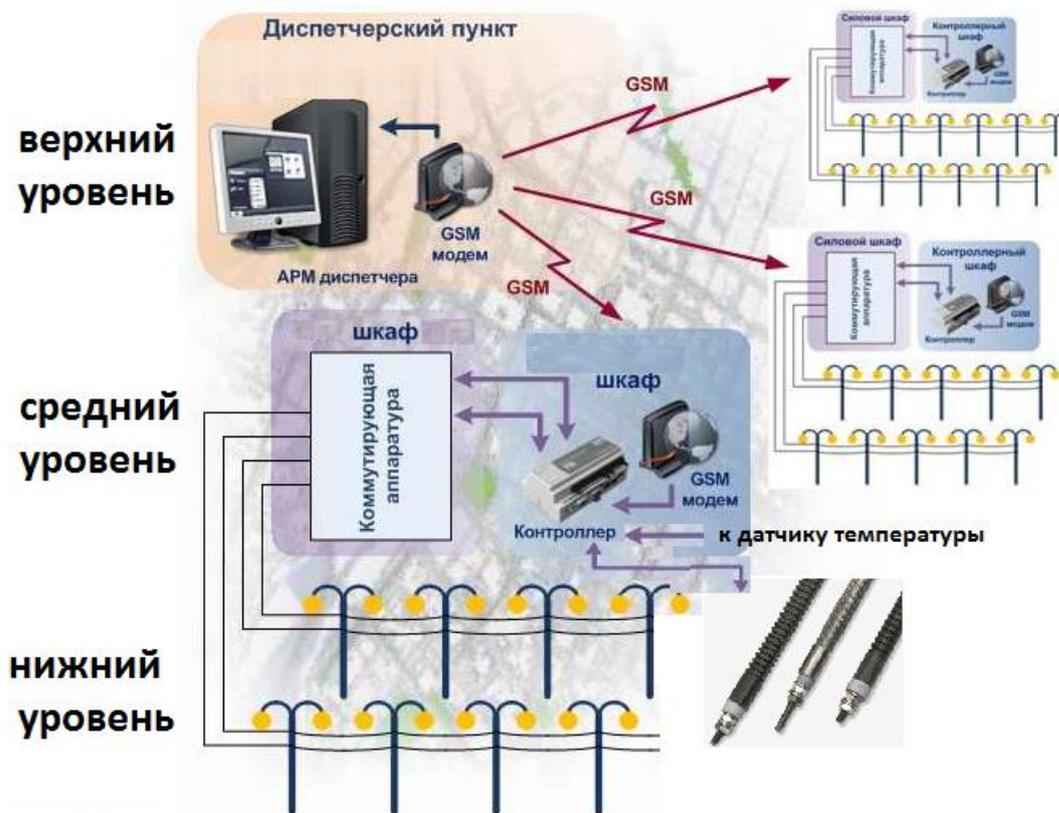


Рисунок 3 – Функциональная структура системы.

Как показано на рисунке 3 функциональная структура системы состоит из трех уровней:

- Верхний уровень
- Средний уровень
- Нижний уровень

ЭВМ верхнего уровня имеет следующие функции:

- программирование контроллеров среднего уровня;
- формирование заданий системам нижних уровней;
- контроль за выполнением заданий.
- ЭВМ также используется для обработки поступающей с контроллера информации и построения графиков переходных процессов по температуре.

По способу связи с ЭВМ высшего уровня рассматриваемая САР относится к системам **автономного** принципа действия, т.к. в рабочем режиме контроллер является не только источником командной информации, но и выполняет функции сравнения и регулирования в контуре температуры.

Средний уровень – автономная система управления технологическим процессом отдельного производственного объекта реализована на базе контроллера, в функции которого входит:

- распределение заданий на нагревательный элемент;
- управления контуром технологического параметра;
- передачи информации о результатах выполнения на ЭВМ.

Для реализации перечисленных функций применяем программируемый контроллер ВЭСТ – 02 производства фирмы «НПО ВЭСТ» Россия, Томск.

Контроллер предназначен для измерения непрерывных сигналов, управление технологическими процессами, распределенные системы управления и сети. Обработки данных, хранения, обработки и связи ПЛК с верхним уровнем. Сбора и обработки информации с первичных датчиков, формирования сигналов управления по заданным алгоритмам, приема и передачи информации в системах измерения, контроля и управления объектами. ПЛК могут включать в себя логику для аналогового контура управления с обратной связью с одной переменной и несколькими переменными, пропорциональный, интегральный, дифференциальный (PID) регулятор.

Контроллер ВЭСТ – 02 представляет собой законченное перепрограммируемое устройство, включающее в себя минимальное количество функциональных блоков, необходимых для решения задач

управления технологическим оборудованием, сбора, хранения и обработки информации. [9]

Основные элементы контроллера:

- микроконтроллер;
- память программ ПП (Flash-память);
- ОЗУ данных;
- интерфейс связи с ЭВМ RS-232;
- интерфейс связи с технологическим оборудованием RS-485;
- программируемая матрица;
- энергонезависимое ОЗУ с последовательным доступом;
- часы реального времени ЧРВ;
- жидкокристаллический индикатор ЖКИ;
- буферные усилители-формирователи;
- буферный регистр.

Прибор может обмениваться данными с периферийными устройствами по сети RS-232 или RS-485. Отображение текущих и архивных данных, параметров настройки прибора, удаленное управление и программирование прибора может выполняться с помощью программы «RegControl» производства ООО «НПО ВЭСТ». При подключении к прибору интернет-коммуникатора ВЭСТ-IC возможна работа с первым по сети Ethernet. Прибор совместим с SCADA-системами, поддерживает протокол ModBus и присутствуют интерфейсы связи RS-232 и RS-485 обеспечивающие возможность обмена данными с периферийными устройствами. При работе в составе системы прибор работает в соответствии с запрограммированным сценарием. В случае типовых сценариев прибор контролирует значения технологических параметров, получая данные с подключенных к нему датчиков, и вырабатывает в

соответствии с заложенными алгоритмами управляющие воздействия для подключенных к нему исполнительных устройств. Режим «Регулирование» – основной рабочий режим, в который прибор переводится автоматически после подачи на него напряжения питания. В данном режиме прибор выполняет следующие функции: – контролирует при помощи подключенных датчиков значения технологических параметров; – отображает на дисплее информацию о контролируемых параметрах и текущих уставках регулирования; – формирует сигналы управления регулирующими устройствами; – осуществляет архивирование данных; – осуществляет передачу данных периферийным устройствам.

Контроль входных параметров Контроль входных параметров осуществляется путем последовательного циклического опроса датчиков, по результатам которого прибором производится вычисление текущих значений величин, соответствующих запрограммированному сценарию. В случае необходимости вычисления текущих значений температур прибор производит расчеты в соответствии с номинальной статической характеристикой преобразователей (Pt1000) по ГОСТ 6651-94. Прибор изготавливается в различных модификациях, отличающихся друг от друга на программном уровне («сценариями» управления). Прибор предназначен для работы с термопреобразователями сопротивления (датчиками), имеющими номинальную статическую характеристику (НСХ) Pt1000, а также исполнительными механизмами с различными управляющими сигналами. [9]

Архивирование данных Прибор осуществляет ведение архивов данных об измеренных и вычисленных значениях технологических параметров. Настройка временного интервала архивирования данных в памяти регулятора производится путем изменения значения параметра «Дискрет» (таблица 5). Дискрет 15 [9]

Таблица 1 – Соответствие значений параметра «Дискрет» и реального времени дискретизации

Значение параметра «Дискрет»	Время дискретизации	Примечание
0	2 с	Каждые 2 секунды до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
1	4 с	Каждые 4 секунды до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
2	8 с	Каждые 8 секунд до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
3	16 с	Каждые 16 секунд до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
4	32 с	Каждые 32 секунды до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
5	1 мин	Каждую минуту до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
6	2 мин	Каждые 2 минуты до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
7	4 мин	Каждые 4 минуты до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
8	8 мин	Каждые 8 минут до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
9	16 мин	Каждые 16 минут до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
10	32 мин	Каждые 32 минуты до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
11	1 ч	Каждый час до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
12	2 ч	Каждые 2 часа до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
13	4 ч	Каждые 4 часа до полного заполнения архива (всего 1024 записи)
От 14 до 127	4 ч	Каждые 4 часа (циклическое заполнение архива)
От 128 до 254	–	Отсутствие архива
255	–	Сброс архива (очистка)

Нижней уровень иерархии АСУ представлен исполнительным нагревателем, который непосредственно воздействует на объект автоматизации.

Гибкие формируемые нагреватели ЭНГ(Гибкие ТЭНы) имеют небольшой габаритный размер, высокую гибкость и несколько типов подключения. Использовать в работе гибкие формируемые нагреватели очень удобно, потому как они дают равномерный нагрев по всей поверхности и не требуют доп. термоизоляции. Нагревательным элементом управляет программируемый логический контроллер обрабатывающий поступающие сигналы с датчика температуры. Также логическим контроллером выдаются сигналы управления освещением. Сигналы о случившейся аварии поступают к диспетчеру.

Основными требованиями к технологическому процессу создания климатических условий является поддержание температуры на нужном уровне, точность измерения температуры должна укладываться в пределы $\pm 1\%$. За измерение температуры отвечает датчик расположенные в шкафу управления. В качестве датчиков температуры в шкафу управления применяется датчик температуры внешнего воздуха, представленный на рисунке 4.



Рисунок 4 – датчик температуры внешнего воздуха AGS 54 Pt1000.

AGS 54 Pt1000 с чувствительным элементом (термосопротивлением): PT1000, который может быть оснащен различными видами термосопротивлений, позволяющими подключать датчик к большому выбору контроллеров. Технические характеристики датчика представлены в таблице 1. Датчик измеряет температуру от -35 до $+90$ $^{\circ}\text{C}$ и передают сигнал сопротивления на контроллеры системы автоматизации.

Таблица 2 – зависимости сопротивления чувствительного элемента от температуры

Температура °С	Pt1000 Ом
-50	803,1
-40	842,7
-30	882,2
-20	921,6
-10	960,9
0	1000
10	1039
20	1077,9
25	1097,4
30	1116,7
40	1155,4
50	1194
60	1232,4
70	1270
80	1308,9
90	1347
100	1385
110	1422
120	1460,6
130	1498,2
140	1535,8
150	1573,1

2.4 обмен данными между уровнями системы.

На верхнем уровне связь осуществляется посредством технологии Ethernet. Выбор данной технологии обусловлен тем, что связь между верхним и средним уровнем системы управления не критична, и не требует осуществления передачи данных в реальном времени (Real Time). Основной функцией этого соединения является загрузка данных в контроллер для их непосредственного исполнения, а также индикация текущего состояния системы управления агрегатом. [10]

Технология Ethernet определяет два уровня: физический и канальный. В качестве физического уровня можно использовать коаксиальный кабель (до 10 Мбит/с) либо витую пару или оптоволокно (100 Мбит/с).

Канальный уровень реализован посредством шины (используется метод случайного выхода на шину). Канальный уровень предназначен для обеспечения доставки данных между конкретными адресами. Каждое устройство имеет собственный MAC адрес, который зашит в сетевом адаптере каждого устройства. Пересылки данных происходят по указанию требуемого MAC адреса.

Для совместной работы среднего и нижнего уровней используется протокол Modbus. Использование которого допускается аппаратной структурой системы управления на этих уровнях. [10]

Протокол MODBUS

Для связи уровней применим наиболее распространенный протокол MODBUS. Данный протокол разработан фирмой Modicon для сбора данных. Специального физического интерфейса для него не определено. Эта возможность предоставляется самому пользователю.

В настоящее время наиболее распространенным применением протоколов является привязка Ethernet для ПЛК, модулей ввода / вывода

Протокол MODBUS - это структура обмена данными, широко используемая для установления обмена данными между интеллектуальными устройствами между ведущим и ведомым устройствами. Данные MODBUS, отправленное от ведущего к ведомому, содержит адрес подчиненного устройства, «команду» (например, «регистр чтения» или «регистр записи»). Поскольку протокол Modbus является просто структурой обмена сообщениями, он не зависит от лежащего в основе физического уровня. Это традиционно реализуется с использованием RS232, RS422 или RS485[11]

Многочисленные системы автоматизации имеют интерфейсы Modbus-RTU для связи. Устройства Modbus сертифицированы организацией пользователей Modbus для обеспечения совместимости и соответствия спецификации Modbus.

Он обеспечивает связь между клиентом и сервером между устройствами, подключенными к различным типам шин или сетям. Modbus-RTU (Remote Terminal Unit) означает, что протокол Modbus используется поверх последовательной линии с интерфейсом RS-232, RS-485 или аналогичным физическим интерфейсом.

Интерфейс RS-485 один из наиболее распространенных стандартов физического уровня связи. Физический уровень - это канал связи и способ передачи сигнала. RS485 является наиболее универсальным стандартом связи. В настоящее время является широко используемым интерфейсом связи в приложениях сбора данных и управления, где несколько узлов обмениваются данными друг с другом.[11]

Стандартный передающий носитель интерфейса RS-485 - это кабель витой пары соединяющий приемопередатчики. Кабели могут быть экранированными или неэкранированными, неэкранированные наиболее распространенные. В основе интерфейса RS-485 лежит принцип дифференциальной передачи данных. Дифференциальный формат обеспечивает эффективное подавление шумов синфазного режима, заключается в передаче одного сигнала по двум проводам. Причем по одному проводу идет оригинальный сигнал, а по другому - его инверсная копия. Интерфейс RS-485 также широко используется в сетях, где необходимы более высокие скорости и большие расстояния. Он используется в оборудовании того же типа, что и для интерфейса RS-232, плюс измерительные приборы и большие специальные автоматические машины. Сети, определенные полевыми шинами, такими как Profibus и Modbus, также используют его.

3 Анализ и синтез управления температурным режимом. Разработка метода удаленной настройки объекта автоматизации

3.1 Анализ технологических переменных, управляющих воздействий, контроля и управления

При создании климатических условий на исследуемом объекте управления рассмотрим замкнутый контур управления температурой. В системе объекта управления отслеживают и контролируют температуру в шкафу. В данном случае технологической переменной является температура шкафа. Основные управляющие воздействия вырабатывает программируемый логический контроллер в котором программно реализован ПИД регулятор. Это задающие воздействия на используемые регуляторы. Управляющие воздействия направлены на изменения мощности подаваемой нагревательного элемента, с поддержанием температуры внутри шкафа не ниже минус 10 °С[11]

Задача управления температурой возникает при условии очень низких температур на улице. В руководствах к реализации подобных систем известных авторам контур управления температурой средствами, как правило, недостаточно качественно описан. Это связано с тем, что этот режим управления возникает достаточно редко и система не может быть настроена во время выполнения работ по отладке и вводу ее в эксплуатацию. Для настройки требуется ждать появления внешних условий, приводящих к такому режиму управления, при этом часто сам объект управления эксплуатируется в труднодоступных местах.

В этой связи, задача организации экспериментальных работ на объекте и его настройка средствами дистанционного управления актуальна и ее решение может быть привлекательно для специалистов в области автоматизации управления.

3.2 Метод настройки и автоматизации удаленной замкнутой системы

На объекте управления температурным режимом шкафа освещения п. Старая Ювала, контур управления температурой имеет значительные колебания, так как регулятор построен некачественно, поэтому в рамках исследования обратим внимание на поиск надежных методов удаленной настройки контура температуры.

Метод содержит три этапа:

- изменение программы, т. е. отладку сценария управления в контуре температуры, построенного на функциональных блоках. В которую входит фрагмент FBD структуры с возможностью ручного управления для создания переходного процесса и ПИД-регулятор. Разработка структуры регулятора на основе FBD логики в среде АКИАР так как контроллер на объекте исследования поддерживает работу в данной среде, а так же в программе CoDeSys, в связи с тем что программирование в этой среде осуществляется по международным стандартам, является более известной в сфере программирования контроллеров, поддерживает работу до 500 различных типов ПЛК и обладает широкими возможностями выполнения математического моделирования.
- Организации эксперимента в рамках действующей системы управления – формирования режима генерации переходного процесса объекта управления (кривая разгона). Путем отключения управляющего воздействия от регулятора и подачи на вход объекта входного тестовые воздействия (подача мощности на нагревательный элемент) «*u*» и снимают реакцию объекта «*y*», затем по аналитическим формулам или численными методами оптимизации находят параметры моделей, при которых реакция

модели максимально соответствует реакции объекта. Результатом эксперимента является S-образная переходная характеристика $h(t)$, снятую экспериментальным путем, ее можно охарактеризовать параметрами, определяемыми непосредственно по графику: коэффициентом передачи k_0 , постоянная времени T_0 , полное запаздывание τ_0 .

- И, собственно, интеллектуальная часть работы по выбору и реализации современных методов настройки замкнутых систем регуляторов и программного обеспечения, такими как метод Зинглера-Николса или эмпирическими формулами для определения параметров ПИД-регулятора

На практике наиболее часто инерционные статические объекты имеют переходные характеристики $h(t)$ S-образной формы (рис. 6). S-образную переходную характеристику, снятую экспериментальным путем, можно охарактеризовать параметрами, определяемыми непосредственно по графику: коэффициентом передачи коэффициентом передачи k_0 , постоянная времени T_0 , полное запаздывание τ_0 , которое равно сумме чистого запаздывания τ_1 и переходного запаздывания τ_2 . На рисунке 6 изображен переходный процесс (кривая разгона).[12]

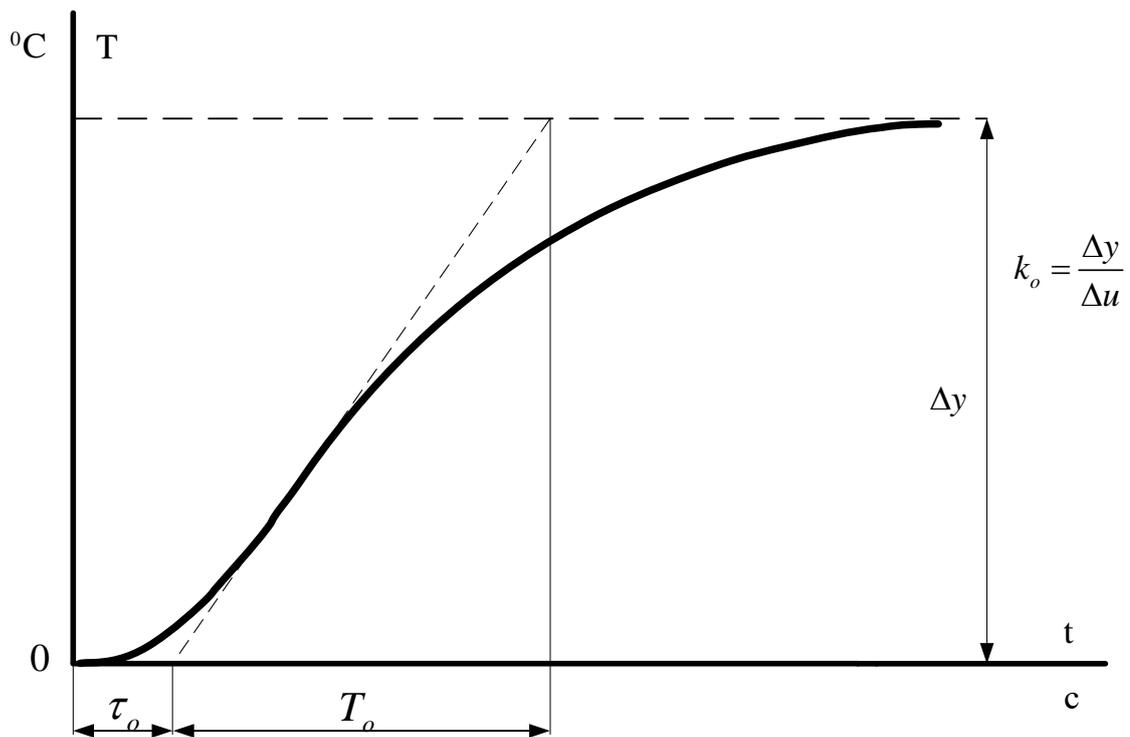


Рисунок 4 – переходная характеристика объекта управления

Переходный процесс (рис.6), представляет собой монотонную кривую, характерной точкой является точка А перегиба характеристике, соответствующая моменту времени изменения знака второй производной (в т.А). Постоянную времени объекта T_o можно рассматривать как сумму постоянных времени двух апериодических (инерционных) звеньев с постоянными времени T_{ob1} и T_{ob2} :

$$T_o = T_{ob1} + T_{ob2}. \quad (1)$$

Из переходного процесса на рисунке 6 можно получить параметры линейной математической модели объекта второго порядка в виде передаточной функции

$$W_{ob}(s) = \frac{k_{ob}}{(1 + T_{ob1}s)(1 + T_{ob2}s)}. \quad (2)$$

где постоянные времени объекта T_{ob1} и T_{ob2} могут вычислены графически из рисунка 6. Коэффициент передачи объекта K_{ob} управления можно

вычислить как отношение изменения выходной температуры объекта к изменению входного значения сигнала управления.

При выборе настроечных параметров САУ используют либо непосредственно вышеперечисленные параметры, либо упрощенные модели объекта, коэффициенты которых выражаются через указанные экспериментальные параметры. Существует множество способов определения параметров ПИД-регулятора, которыми являются: k_p - коэффициент пропорциональности, T_u - коэффициент интегрирования, T_d - дифференциальная составляющая

Если известно что объект управления состоит из n одинаковых объектов первого порядка, соединенных последовательно, то наилучшее приближение к S-образной характеристике обеспечивает передаточная функция:

$$W_0(s) = \frac{k_0 e^{-s\tau_0}}{(T_0 s + 1)^n}. \quad (3)$$

Модель (3) удобна для исследования САУ с применением средств вычислительной техники. Если представить передаточную функцию (3) модели второго порядка ($n=2$) в передаточную функцию идеального регулятора (4) и произведем приближенную замену $e^{-s\tau_0} \approx 1 - s\tau_0$, то передаточная функция регулятора будет иметь вид (6).

$$W_{pu}(s) = \frac{1}{(1 - e^{-s\tau_0})^n} \cdot \frac{1}{W_0'(s)}, \quad (4)$$

где τ_0 – полное запазывание;

$W_0'(s)$ – передаточная функция инерционной части объекта управления, имеющего общую передаточную функцию (5):

$$W_0(s) = W_0'(s)e^{-s\tau_0}, \quad (5)$$

$$W_p(s) = \frac{T_{0i}^2 s}{k_0 \tau_0} + \frac{1}{k_0 \tau_0 s} + \frac{2T_{0i}}{k_0 \tau_0}. \quad (6)$$

Передаточную функцию (6) можно привести к виду (7):

$$W_p(s) = \frac{2T_{0i}}{k_0 \tau_0} + \left(1 + \frac{1}{2T_{0i}} \cdot \frac{1}{s} + \frac{T_{0i}}{2} s \right) = k_p \left(\frac{1}{T_u s} + T_d s + 1 \right), \quad (7)$$

где $k_p = \frac{2T_{0i}}{k_0 \tau_0}$, $T_u = 2T_{0i}$, $T_d = \frac{T_{0i}}{2}$.

Формула (7) показывает, что наилучшим для аппроксимирующей модели (3) будет ПИД-регулятор с параметрами настройки согласно (7).

Можно указать эмпирические формулы для определения параметров ПИД-регулятора [19]:

$$k_p = \frac{0,74T_0}{k_0 \tau_0}, T_i = 0,74T_0, T_d = 0,18T_0. \quad (8)$$

Так же настроить параметры ПИД-регулятора системы управления можно известными в теории автоматического управления средствами, такими как метод Зинглера-Николса [14,15] или эмпирическими формулами обеспечивающие симметричный (СО) и модальный оптимум (МО) ПИД регулятора.

В зависимости от типа и порядка, а так же соотношений между их постоянными времени, настройка контура регулирования осуществляется либо по критерию МО, либо по критерию СО (табл. 3).

Таблица 3 – зависимости применения критериев от порядка и соотношения постоянных времени

Передаточная функция объекта $W_o(p)$	Условия применения	Критерий	Параметры регулятора		
			κ_p	T_u	T_d
из формулы (8) $\frac{k_0}{(T_{01}p+1)(T_{02}p+1)}$ $(T_{01} < T_{02})$	$T_{02} \leq 4T_{01}$	МО	$\frac{T_{02}}{2k_0T_{01}}$	T_{02}	–
	$T_{02} \geq 4T_{01}$	СО	$\frac{T_{02}}{2k_0T_{01}}$	$4T_{01}$	–
из формулы (9) $\frac{k_0}{p(T_{01}p+1)(T_{02}p+1)}$	$T_{02} \ll T_{01}$	СО	$\frac{1}{2k_0T_{01}}$	$4T_{01}$	–
	$T_{01} < T_{02}$	СО	$\frac{1}{2k_0T_{01}}$	$4T_{01}$	T_{02}
из формулы (10) $\frac{k_0}{(T_{01}p+1)(T_{02}p+1)(T_{03}p+1)}$ $(T_{01} < T_{02} < T_{03})$	$T_{03} \leq 4T_{01}$	МО	$\frac{T_{03}}{2k_0T_{01}}$	T_{03}	T_{02}
	$T_{03} \geq 4T_{01}$	СО	$\frac{T_{03}}{2k_0T_{01}}$	$4T_{01}$	T_{02}
	$T_{02} \geq 4T_{01}$	СО	$\frac{T_{02}T_{03}}{8k_0T_{01}^2}$	T_{02}	$4T_{03}$

Если у объекта второго порядка (2) $T_{02} \leq 4T_{01}$ то предпочтителен критерий МО. Для выполнения требований критерия применяют ПИ-регулятор, где $T_d = 0$ с постоянной интегрирования T_u , равной наибольшей постоянной времени объекта $T_u = T_{02}$. Тем самым достигается полная компенсация этой наибольшей постоянной времени.

$$W_p(s) = \frac{k_p(T_u s + 1)}{T_u s}. \quad (9)$$

Передаточная функция разомкнутого контура принимает вид (10):

$$W(s) = W_p(s)W_0(s) = \frac{k_p k_0}{T_u s(T_{01}s + 1)}. \quad (10)$$

Учитывая, что для рассматриваемого контура с ПИ-регулятором согласно (10):

$$k = \frac{k_p k_0}{T_u}, \quad \text{и} \quad T_u = T_{02}. \quad (11)$$

Получим второе условие настройки на МО:

$$k_p = \frac{T_{02}}{2k_0 T_{01}}. \quad (12)$$

Выводы о влиянии критериев настройки и параметров регулятора на показатели переходного процесса:

1. Увеличение передаточного коэффициента приводит к уменьшению перерегулирования .
2. Увеличение постоянной интегрирования приводит к увеличению времени переходного процесса и мнижению перерегулирования
3. Критерий МО предпочтителен при оптимизации систем, обрабатывающих в основном задающее воздействие
4. Критерий СО целесообразно применять при настройке стабилизирующих систем, обрабатывающих в основном возмущающее воздействие.

Вывод:

Для нахождения настроечных параметров регулятора любым из методов приведенных выше, необходимо получить переходную характеристику объекта управления (кривую разгона) в качестве сведений об управляемом объекте. Они могут быть получены экспериментальной записью кривой разгона на реальном объекте, путем отключения управляющего воздействия от регулятора и подачи на вход объекта входного тестовые воздействия (подача мощности на нагревательный элемент) «*u*» и снимают реакцию объекта «*y*».

Проследить за значениями переменных на современных контроллерах можно с помощью «Трейсера» способного записывать архивные данные. Прибор осуществляет архивирование данных, ведение архивов данных об измеренных и вычисленных значениях технологических параметров. Настройка временного интервала архивирования данных в памяти регулятора производится путем изменения значения параметра «Дискрет» (таблица 1). «Данный инструмент подобен трендам SCADA-систем, но имеет существенное отличие. Данные трассировки аккумулируются в памяти контроллера. Это делается системой исполнения в реальном времени. Для отображения на компьютере данные передаются по его запросу асинхронно от записи. Это означает, что мы можем проводить детальнейшее отслеживание значений переменных. Она применяется на этапе проектирования для изучения объектов и исследования функциональных зависимостей, при эксплуатации для технологических целей и исследования проблемных ситуаций. После запуска трассировки связь с компьютером иметь необязательно. Трассировка может работать параллельно с программой, не влияя на нее. Данные хранятся в памяти контроллера до тех пор, пока не будут считаны».

4 Моделирование системы управления в среде «CoDeSys» для реализации эксперимента и настройки удаленного объекта

Моделирование работы технологического процесса будем проводить в среде CoDeSys, это программа разработки контроллеров, которая позволяет пользователю создавать визуализацию операций и процессов приложений и обладающей широкими возможностями выполнения математического моделирования, создавая модель из простых блоков, поддерживающая до 500 различных типов ПЛК. Инструментальный программного комплекса промышленной автоматизации «CodeSys» предназначена для анализа хода выполнения программы и анализа технологических процессов. Она используется на этапе проектирования для изучения объектов, также приемлема для исследования функциональных зависимостей и исследования различных проблемных ситуаций. Среда программирования позволяет сохранять переходный процесс в автоматическом режиме без участия человека в виде ряда измерений до 500 точек и загрузить его в персональный компьютер в удаленном режиме средствами ПЛК. [13]

CoDeSys содержит интегрированную систему визуализации, которая уникальна и очень удобна. Его применение программирующих контроллеров строится в соответствии с международными стандартными стандартами. Программное обеспечение CoDeSys прост в установке и свободно доступно на сайте компании. Это программное обеспечение позволяет оператору рисовать визуальную диаграмму данных контроллера и может легко отслеживать и оценивать производительность. Для этого программного обеспечения не требуются дополнительные инструменты. Руководство поставляется с программным обеспечением, которое содержит всю информацию. Графический редактор имеет три блока, лестничную диаграмму (LD), функциональную блок-схему (FBD) и

последовательную функциональную схему (SFC). Пользователь может комбинировать LD и FBD, что обеспечит простоту быстрого программирования аналоговых и булевых выражений. Thirtyly SFC позволяет пользователю удобно программировать последовательные процессы приложения. [13]

Реализации процесса управления температурным режимом в шкафу управления освещением достаточно просто осуществляется FBD логикой. Во многих отношениях язык функциональных блоков теоретически может сравниться с интегральными схемами (ПЛИС), которые используются в электронном оборудовании. Такой подход требует глубоких знаний в области схемотехники И имеет ряд недостатков в использовании Программируемой логики: дизайн с PLD требует дополнительных программных и аппаратных средств разработки, которые часто очень затратны. Требуется быть обученным к использованию новых инструментов проектирования.

Язык функциональных блоков (*FBD*) является удобным для создания и пополнения библиотеки типовых функциональных блоков, которую можно многократно использовать при программировании задач промышленной автоматизации. Функциональный блок - это элемент программного обеспечения, который описывает поведение данных, структуру данных и внешний интерфейс, определяемый как набор входных и выходных параметров. Функциональная блок-схема (FBD) может заменить тысячи строк из текстовой программы. Графическое программирование - это интуитивно понятный способ определения функциональности системы путем сборки и соединения функциональных блоков. Язык FBD программирования был введен для преодоления слабых мест, связанных с текстовым программированием и релейно-лестничной логики (ladder diagram). Также для решения проблемы повторного использования общих задач, таких как управление пропорциональными

интегральными дифференциальными (PID) регулятором, счетчиками и таймерами в разных частях приложения или в разных проектах. [16]

FBD логика состоит в основном из взаимосвязанных функций и функциональных блоков, чтобы выразить поведение системы. В отличие от текстового программирования, для передачи данных из одной подпрограммы в другую не требуется никаких переменных, поскольку провода, соединяющие разные блоки, автоматически инкапсулируют и передают данные. FBD являются графическим простым способом представления управляющей программы и моделью программирования потоков данных. Прослеживаемость выполнения и легкая отладка. Графический поток данных FBD облегчает отладку, поскольку проектировщики системы могут следить за проводными соединениями между функциями и функциональными блоками. Многие редакторы программ FBD (такие как Siemens Step 7) также предоставляют анимацию, показывающую поток данных, чтобы облегчить отладку. Интуитивность, простота использования и повторное использование FBD логики делают их очень популярными среди инженеров. FBD идеально подходят для сложных приложений с параллельным выполнением и для непрерывной обработки. Они также эффективно заполняют пробелы в логической цепочке, такие как инкапсуляция и повторное использование блоков. Чтобы преодолеть некоторые из их недостатков, инженеры должны использовать смешанные модели вычислений. [17]

Параллельное выполнение. Благодаря внедрению систем на основе нескольких процессоров, программируемые контроллеры автоматизации и ПК теперь могут выполнять несколько функций одновременно. Языки графического программирования, такие как FBD, могут эффективно представлять параллельную логику. В то время как текстовые программисты используют специальные потоковые и временные библиотеки, чтобы использовать преимущества многопоточности,

графические языки, FBD и языки потоков данных (например, National Instruments LabView) могут автоматически выполнять параллельные функциональные блоки в разных потоках. Это помогает в приложениях, требующих расширенного управления, в том числе нескольких PID регуляторов параллельно.[16]

В данном программном обеспечении возможна идентификация и настройка удаленного объекта. Настройка может быть выполнена известными в теории автоматического управления средствами, такими как метод Зинглера-Николса [14,15] или эмпирическими формулами, обеспечивающие симметричный оптимум ПИД регулятора.

Моделирование проекта управления контуром температуры для снятия переходного процесса и его дальнейшей настройки достаточно просто осуществить с помощью блоков в библиотеке среды CoDeSys, и создав новые на основе теории автоматического уравнения, прописывая в блоках разностные уравнения передаточных функций. При этом обозначив каждые входы и выходы блоков, а так же назначив отслеживаемую переменную состояния. Так же необходимо присвоить каждой переменной ее тип в ассистенте ввода. В данной работе использовались `bool` и `real`. `.Real` – константы представляются в формате для сохранения рациональных чисел. `Bool` – логический тип данных, переменная может принимать 2 значения `TRUE` или `FALSE`. На рисунке 7 представлены элементы *FBD* программы, системы управления, в среде CoDeSys.

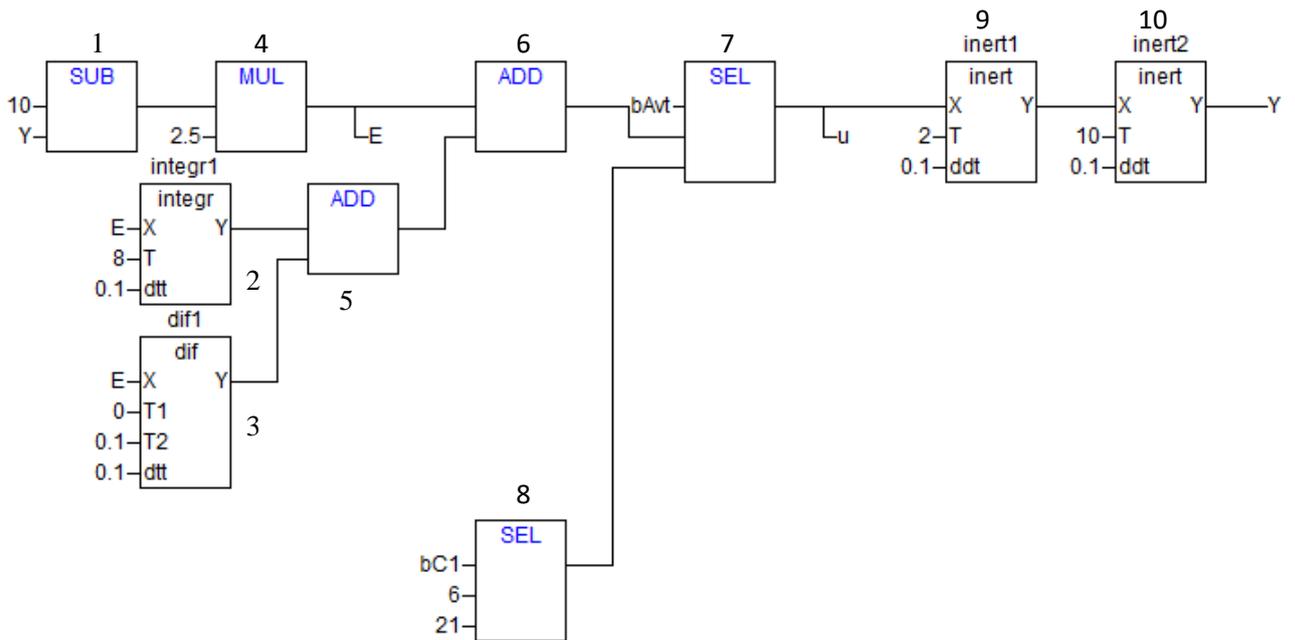


Рисунок 7 – Элементы *FBD* программы в среде CoDeSys

На рисунке 7 в блоках, обозначенных цифрами 1-6, реализован классически пропорционально интегрально дифференциальный (ПИД) регулятор, где 1, 4, 5 и 6 – стандартные блоки: вычитания, умножения и суммирования соответственно. 2 – блок интегральной составляющей регулятора, реализованный разностным уравнением (14) соответствующей передаточной функцией (13).

$$W(s) = \frac{y}{x} = \frac{1}{T \cdot s}, \quad (13)$$

$$y = y + \frac{\Delta t}{T} \cdot x, \quad (14)$$

где y, x – переменные состояния;

T – постоянная времени;

Δt – время.

3 – блок дифференциальной составляющей регулятора с передаточной функцией (15), реализованное выражением (18).

$$W(s) = \frac{y}{x} = \frac{T_1 \cdot s}{1 + T_2 \cdot s}, \quad (15)$$

$$y + T_2 \cdot s \cdot y = T_1 \cdot s \cdot x, \quad (16)$$

$$y + T_2 \cdot \frac{y(t + \Delta t) - y(t)}{\Delta t} = T_1 \cdot \frac{x(t) - x(t - \Delta t)}{\Delta t}, \quad (17)$$

$$y = \left(\frac{T_1}{\Delta t} \cdot (x - x_1) - y \right) \cdot \frac{\Delta t}{T_2} + y. \quad (18)$$

Блоками 9, 10 – представлена линейная математическая модель объекта второго порядка в виде передаточной функции (19)

$$W_{ob}(s) = \frac{k_{ob}}{(1 + T_{ob1}s)(1 + T_{ob2}s)}, T_{ob2} \leq T_{ob1}, \quad (19)$$

где T_{ob1} и T_{ob2} – постоянные времени объекта;

K_{ob} – коэффициент передачи объекта.

Представленное в виде последовательного соединения двух инерционных звеньев первого порядка с передаточной функцией (20). Блоки модели объекта, реализованы уравнением (25).

$$W(s) = \frac{1}{1 + T \cdot s} = \frac{y}{x}, \quad (20)$$

$$x = y + T \cdot s \cdot y, \quad (21)$$

$$x = y(t) + \frac{dy(t)}{dt} \cdot T, \quad (22)$$

$$x(t) = y(t) + T \cdot \frac{y(t + \Delta t) - y(t)}{\Delta t}, \quad (23)$$

$$y(t + \Delta t) = \frac{x(t) - y(t)}{T} \cdot \Delta t + y(t), \quad (24)$$

$$y = (x - y) \cdot \frac{\Delta t}{T} + y. \quad (25)$$

Блоки 7 и 8 предназначены для коммутации сигнала управления в трех режимах:

1. режим автоматической работы при значении флага $bAvt=TRUE$;
2. режим формирования возрастающего переходного процесса (кривой разгона) при значениях флагов $bAvt=FALSE$ и $bCl=FALSE$;
3. режим формирования спадающего переходного процесса при значениях флагов $bAvt=FALSE$ и $bCl=TRUE$.

Создав проект и загрузив отлаженное приложение. В CoDeSys мы имеем возможность доступа к значениям входов и выходов ПЛК. Это дает возможность проверить монтаж оборудования. Так для изучения работы датчиков мы можем формировать внешние воздействия, получить переходную характеристику объекта управления (кривая разгона) в качестве сведений об управляемом объекте, и наблюдать результат в числовом формате или в виде графиков (графическая трассировка).[13]

Проследить за значениями переменных можно с помощью “Цифровой трассировки”. «Данный инструмент подобен трендам SCADA-систем, но имеет существенное отличие. Данные трассировки CoDeSys аккумулируются в памяти контроллера. Это делается системой исполнения в реальном времени. Для отображения на компьютере данные передаются по его запросу асинхронно от записи. Это означает, что мы можем проводить детальнейшее отслеживание значений переменных по рабочим циклам, даже если контроллер очень быстрый, а канал связи медленный. То есть трассировка CoDeSys приемлема не только для анализа медленных технологических процессов, но и для анализа хода выполнения программы. Она применяется на этапе проектирования для

изучения объектов и исследования функциональных зависимостей, при эксплуатации для технологических целей и исследования проблемных ситуаций. После запуска трассировки связь с компьютером иметь необязательно. Трассировка может работать параллельно с программой, не влияя на нее. Данные хранятся в памяти контроллера до тех пор, пока не будут считаны».[13] Минимум, что нужно сделать, – это задать переменные, значения которых нас интересуют, как показано на рисунке 8.

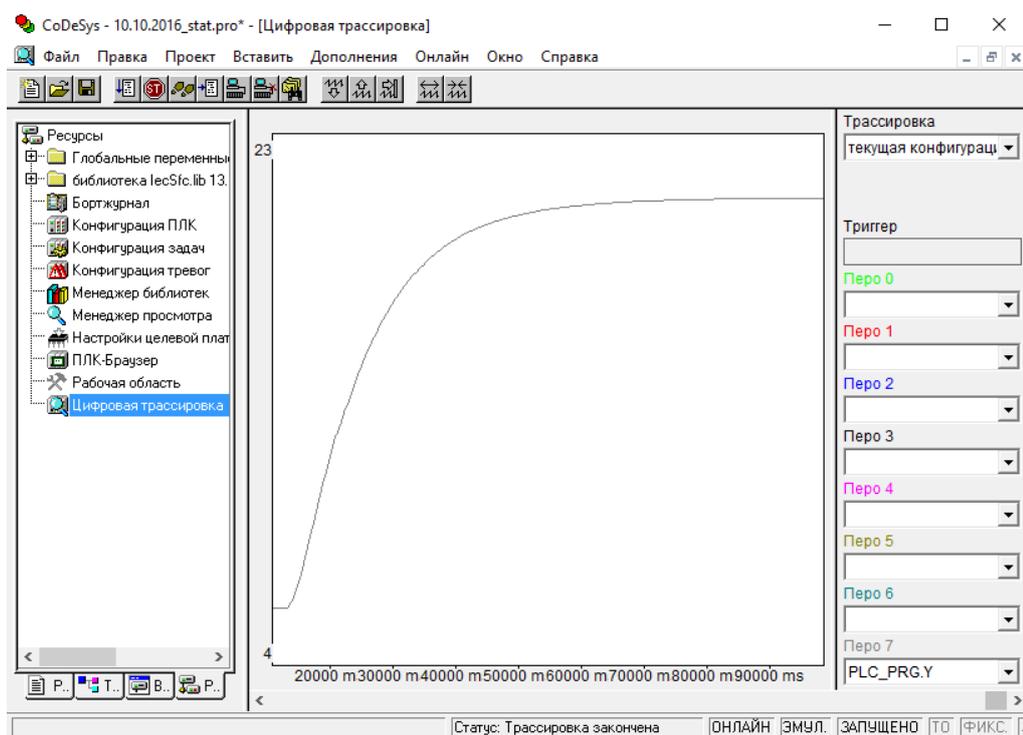


Рисунок 8 – трассировка в CoDeSys

На рисунке 8 показан переходный процесс, полученный цифровой трассировкой – инструментом CoDeSys. Для примера показан преходный процесс объекта управления полученный в режиме ручного управления, при отключении управляющего воздействия от регулятора и формирования возрастающего переходного процесса (кривой разгона) – изменения статического, входного значения сигнала, равное 6 до установившегося

значения тестового воздействия на объект управления, равное 21. При значениях флагов $bAvt=FALSE$ и $bCl=FALSE$;

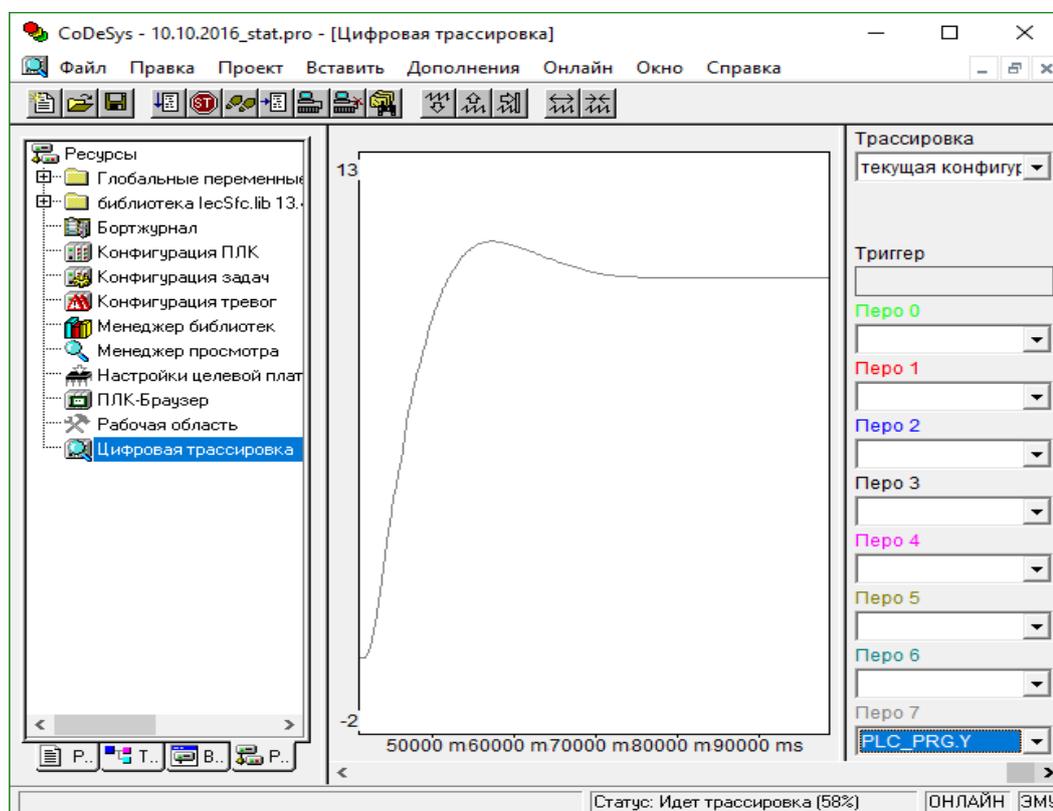


Рисунок 9 – трассировка в CoDeSys

На рисунке 9 показан переходный процесс, полученный цифровой трассировкой – инструментом CoDeSys. Для примера показан преходный процесс выходной величины объекта управления «Y» при оптимальных коэффициентах ПИД-регулятора. Среда программирования *CoDeSys* [4] позволяет сохранять переходный процесс в автоматическом режиме без участия человека в виде ряда измерений до 500 точек и загрузить его в персональный компьютер в удаленном режиме средствами ПЛК.

Используя уникальную и очень полезную интегрированную систему визуализации, которую содержит CoDeSys. позволит создать визуализацию операций, процессов приложений и отслеживание

исследуемой переменной в реальном времени. Визуализация нужна для создания интерфейса и диспетчерского мониторинга проекта в режиме реального времени. В разделе визуализации можно наглядно представить проект, рисуя элементы визуализации с последующей настройкой. Так же в Визуализации можно проследить за значениями интересующих переменных, в блоке (элементе) трэнд.

Отличие инструментов: визуализации и трассировки в отслеживании переменных состоит в веб интерфейсе. То есть просмотре только текущего состояния переменных, как в визуализации, и отслеживании переменных и последующей записи в контроллере, как в трассировке. Цифровая трассировка записывает в контроллере информацию в архиве ПЛК и сохраняет, формируется график $X(t)$, $Y(t)$, ...переходных процессов с последующей записью в архив. старые замещая новыми. А инструмент визуализации является диспетчерским мониторингом в режиме реального времени (на стороне пользователя).

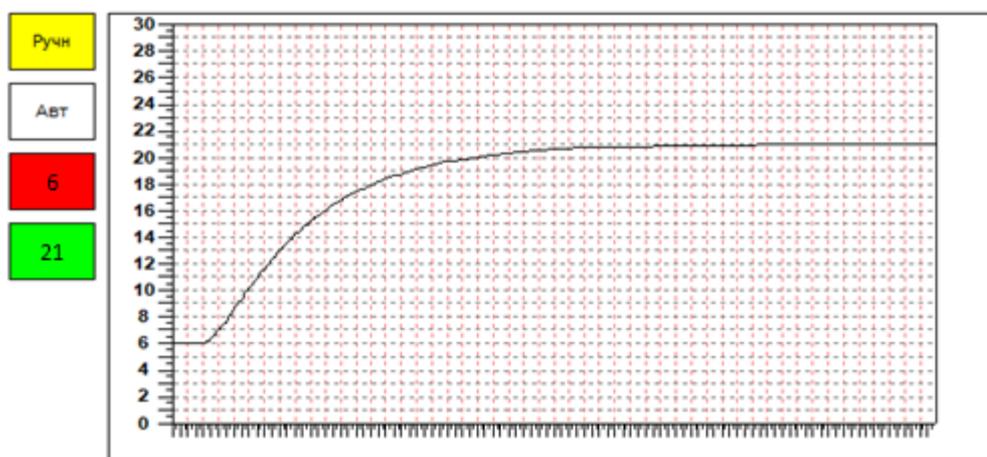


Рисунок 10 – Визуализация программы в среде CoDeSys

На рисунке 10 представлен результат работы в визуализации, программы CoDeSys, с возможностью ручного управления - снятия эксперимента, возрастающего переходного процесса объекта при значениях флагов и $bAvt=FALSE$ и $bCl=TRUE$.

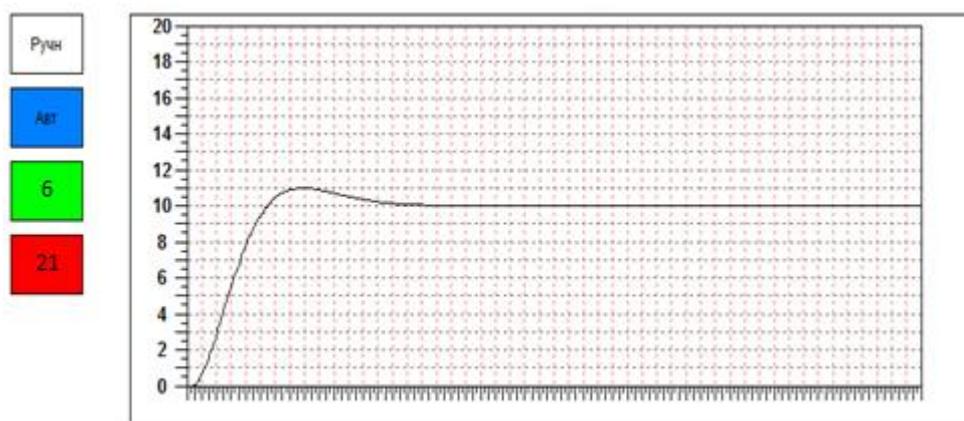


Рисунок 11 – Визуализация программы в среде CoDeSys

На рисунке 11 представлен результат работы в визуализации, программы CoDeSys, с возможностью автоматического управления, управляющее воздействие поступает от регулятора, переходный процесс выходной величины объекта управления «Y» при оптимальных коэффициентах ПИД-регулятора.

Вывод:

Среда программирования CoDeSys поддерживает работу с 500 различных типов ПЛК. В данной программе присутствуют все возможные инструменты для настройки автоматизированной системы: проверка монтажа оборудования, моделирование системы управления, проведение эксперимента для настройки системы получение переходной характеристики объекта управления (кривая разгона) в качестве сведений об управляемом объекте, и наблюдать результат в числовом формате или в виде графиков (графическая трассировка). В связи с тем что Контроллер ВЭСТ – 02 не поддерживается системами CoDeSys. Эксперимент будем проводить в программной среде АКИАР.

5 Разработка математических моделей контура температуры для проведения эксперимента средствами «АКИАР»

5.1 Отладка программы в среде АКИАР для проведения экспериментов

Программное обеспечение – графический редактор «АКИАР» – с помощью FBD-логики позволяет создавать новые и редактировать стандартные управляющие «сценарии», адаптируя работу прибора под конкретный технологический объект. Бесплатное программное обеспечение – программа для удаленной работы с прибором «RegControl» – позволяет просматривать текущие и архивные данные, параметры настройки прибора, удаленно управлять прибором и программировать его. А сам ПЛК осуществляет передачу данных о значениях контролируемых технологических параметров периферийным устройствам, подключенным по интерфейсам RS-232 или RS-485.

Для реализации моделирование работы автоматизированной системы управления и получения сведений об управляемом объекте достаточно иметь небольшие навыки *FBD* программирования весьма схожие со средствами, используемыми в таких популярных программах, как *MatLab*.

Исходный сценарий управления работой шкафа освещения представлен на рисунке 12.

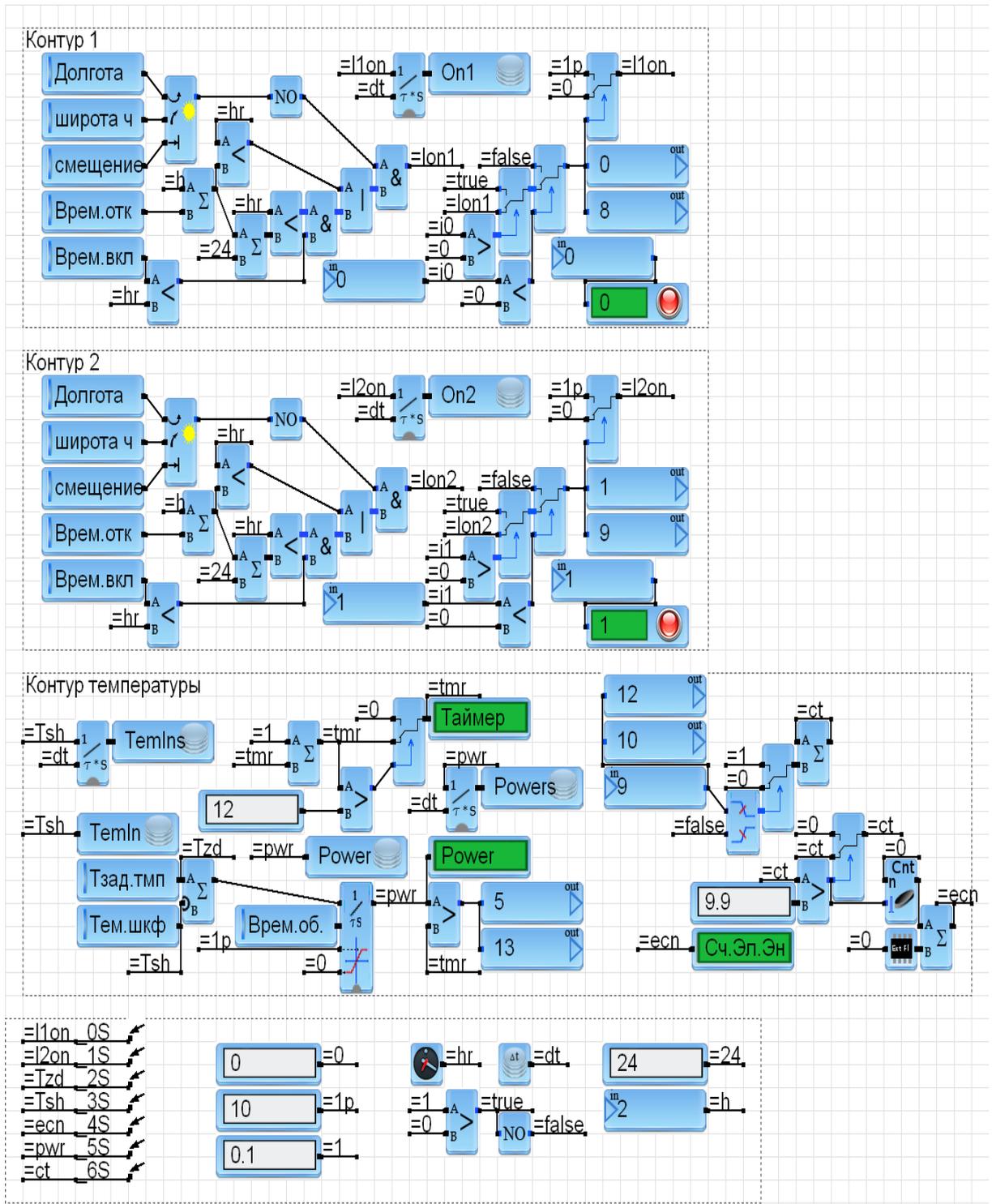


Рисунок 12 – Элементы FBD программы в среде АКИАР

Контур 1 – контур управления автоматическим включение и отключением освещения по заданному алгоритму, зависящему от долготы и широты местности, восхода и захода солнца

Контур 2 – контур алгоритма управления обеспечивающий контроль и управление с возможностью изменения алгоритма включения/отключения в исключительные дни (выходные, праздничные)

Контур температуры – алгоритм программы, поддерживающий температуру шкафа управления на заданном уровне, для обеспечения исправной работы системы. Данный контур управления требует корректировки. В нем присутствуют значительные колебания связанные с управляющим сигналом, так как регулятор построен некачественно. С этой целью вносим изменения в FBD структуру схемы температурного контура, где управляющее воздействие на исполнительный элемент будет генерироваться пропорциональным, интегральным, дифференциальным регулятором. Также необходимо включить в схему блоки необходимые для снятия переходного процесса – кривой разгона, по которой определим параметры ПИД-регулятора, обеспечивающие оптимальные показатели качества

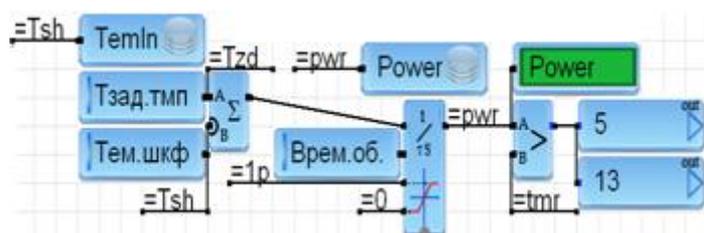


Рисунок 13 – фрагмент FBD программы контура температуры в среде АКИАР

На рисунке 13 изображен фрагмент FBD программы контура 3 – контура управления температурой, который подлежит отладке. Подлежащий изменению контур управления температурой имеет значительные колебания, так как регулятор построен некачественно.

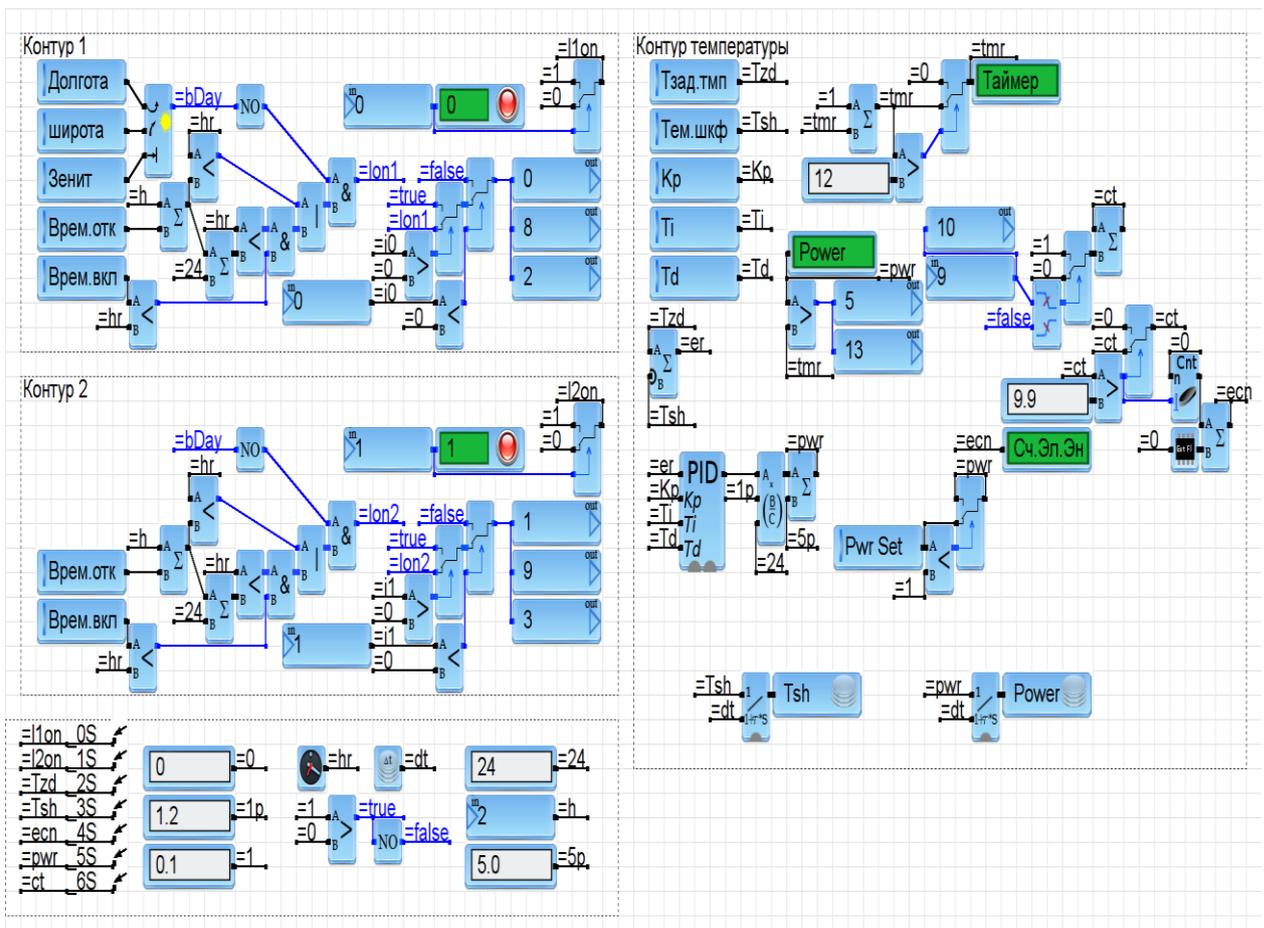


Рисунок 14 – Элементы отлаженной FBD программы в среде АКИАР

Рисунок 14 отображает отлаженную систему контура управления температурным режимом в среде АКИАР. Где управляющий сигнал генерируется с помощью ПИД-регулятора

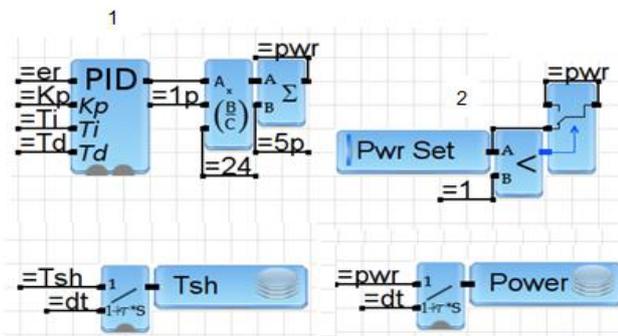


Рисунок 15 – система управления для коммутации сигнала в автоматическом и ручном режиме

Данный проект на основе FBD моделирования соответствует логике изменения программы в среде CoDeSys (рисунок 7). С возможностью автоматического режима управления и ручного – режима снятия переходного процесса.

Данный разработанный фрагмент FBD логики включенный в программу управления контуром температуры, после дальнейшей удаленной настройки ПИД-регулятора должен обеспечивать лучшие показатели качества переходного процесса. На рисунке 14 изображен: 1 – ПИД-регулятор, 2 – элементы FBD программы предназначенные для коммутации сигнала управления и создания переходного процесса, которые работают в режимах:

1. Значение переменной $Pwr\ Set=1$ – режим формирования возрастающего переходного процесса для снятия эксперимента
2. Значение переменной $Pwr\ Set=0$ – режим управления системы регулирования, где сигнал управления объекта является выходом ПИД регулятора изображенного на рисунке 6

5.2 Алгоритм проведения эксперимента на исследуемом объекте, автоматизированной системе управления температурным режимом.

Алгоритм проведения эксперимента должен представлять собой логическую последовательность действий, которые необходимо выполнить на объекте для получения необходимых экспериментальных данных. В алгоритм могут входить: выполнение вычисления, обработка данных, принятие решений, управляющее воздействие в канал управления и задачи рассуждения. Инструкции, описывающие эксперимент, состоящие из четко определенных последовательных действий, в конечном итоге получая результат.

Алгоритм эксперимента содержит три этапа:

- Режим формирования спадающего переходного процесса. В этом случае на исследуемом объекте, шкафу управления освещением п. Старая Ювала диспетчер берет ручное, отключив режим автоматической работы системы с поддержанием температуры. Для этого требуется в ПЛК назначить мощность нагревателя 1%. Дождаться формирования спадающего переходного процесса до установившегося значения.
- Архивирование данных в память ПЛК. Настроить и далее запустить «Трейсер» способный записывать данные поступающий в архив ПЛК (температура шкафа управления и мощность зависящие от времени). Для этого необходимо в ПЛК, разделе «настройки», пункте «архивирования данных» в котором осуществляется ведение архивов данных об измеренных и вычисленных значениях технологических параметров. Сбрасываем настройки трейсера, выставляя значение параметра «дискрет» равному «16». Так же путем изменения значения параметра «Дискрет» производится настройка временного интервала архивирования данных в памяти

регулятора. Соответствие параметра дискрет от реального времени дискретизации представлено в таблице 1. Далее выставляем значение параметра дискрет равное «1» для архивирования данных в ПЛК каждые 4 секунды до полного заполнения

- Режим формирования возрастающего переходного процесса (кривой разгона). Запустив трейсер в ПЛК, формируем возрастающий переходный процесс. Так же в режиме ручного управления ПЛК устанавливаем мощность нагревателя 49% и ждем окончания переходного процесса до установившегося значения. Диспетчер может в любой момент времени вывести интересующие данные по объекту управления, так как запись сохраняется в архиве ПЛК автоматически (1024 записи).

5.3 Результаты проведенных исследований и экспериментов

Первое, с чего предстоит начать, это подготовка данных об объекте управления в настраиваемой системе.

В качестве сведений об управляемом объекте программе нужны данные о его кривой разгона (переходной характеристике). Они могут быть получены путем экспериментальной записи кривой разгона на реальном объекте по заданному алгоритму.

Настраивая контроллер, с помощью программы «RegControl», которая позволяет удаленно программировать прибор и просматривать архивные и текущие данные а также параметры настройки прибора, под сценарий управления, описанный в главе 3.5, с измененной FBD структурой управления контура температуры в среде «АКИАР». В данной структуре управления присутствует ПИД-регулятор и возможность реализации эксперимента, снятие результатов данных переходного процесса. Интерфейс работы ПЛК представлен на рисунке 16.

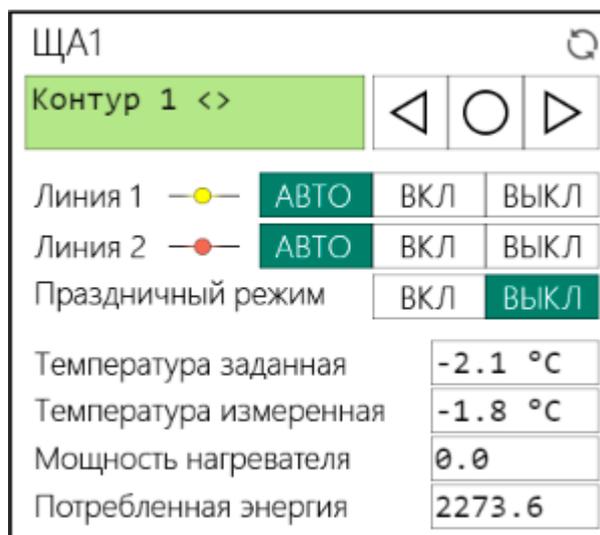


Рисунок 16 – Интерфейс управления контуром

температуры



– горизонтальный переход вперед по разделам главного меню, горизонтальный переход по пунктам выбранного раздела, изменение значения выбранного параметра в сторону



увеличения;

– горизонтальный переход назад по разделам главного меню, горизонтальный переход по пунктам в пределах выбранного раздела, изменение значения выбранного параметра в сторону уменьшения;



– вход в режим изменения значения параметра и ручного управления.

Для генерации переходного процесса требуется:

- 1) Перейти в режим ручного управления.
- 2) Прейти в раздел «настройки», пункт «архивирования данных» в данном пункте осуществляется ведение архивов данных об измеренных и вычисленных значениях технологических параметров. Сбрасываем настройки ПЛК, выставляя значение параметра «дискрет» равному «16». Так же путем изменения значения параметра «Дискрет» производится настройка временного интервала архивирования данных в памяти

регулятора. Соответствие параметра дискрет от реального времени дискретизации представлено в таблице 1. Далее выставляем значение параметра дискрет равное «1» для архивирования данных прибора каждые 4 секунды до полного заполнения.

3) В пункте «Power set» прописываем значение 49 и ждем окончания переходного процесса (кривой разгона). Прибор осуществляет ведение архива данных об измеренных и вычисленных значениях технологического параметров. Результаты переходного процесса сохраняются в памяти контроллера. Просмотр результатов эксперимента возможен программным обеспечением «RegControl» в числовом виде. Данные эксперимента представлены в таблице 4.

Таблица 4 – данные полученные из архива ПЛК «ВЭСТ-02»

Время переходного процесса; t,с	Температура шкафа управления; Т,с	Мощность нагревателя; Р,Вт
0	26,0	1
4	26,0	1
8	26,1	1
12	26,1	14
16	26,1	32
20	26,1	42
24	26,1	46
28	26,1	47
32	26,1	47
36	26,1	48
40	26,1	49
...
2288	32,7	49
2292	32,7	49
2296	32,8	49
2300	32,8	49
2304	32,8	49
2308	32,8	49

Продолжение таблицы 4 – данные полученные из архива ПЛК «ВЭСТ-02»

2312	32,8	49
...
5152	37,5	49
5156	37,5	49
5160	37,5	49
5164	37,5	49
5168	37,5	49
5172	37,5	49
5176	37,5	49
5180	37,5	49
5184	37,5	49

На практике наиболее часто инерционные статические объекты имеют переходные характеристики $h(t)$ S-образной формы (рис. 17). S-образную переходную характеристику, снятую экспериментальным путем, можно охарактеризовать параметрами, определяемыми непосредственно по графику: коэффициентом передачи коэффициентом передачи k_o , постоянная времени T_o , полное запаздывание τ_o . На рисунке 17 изображен переходный процесс (кривая разгона) построенная по таблице 3.

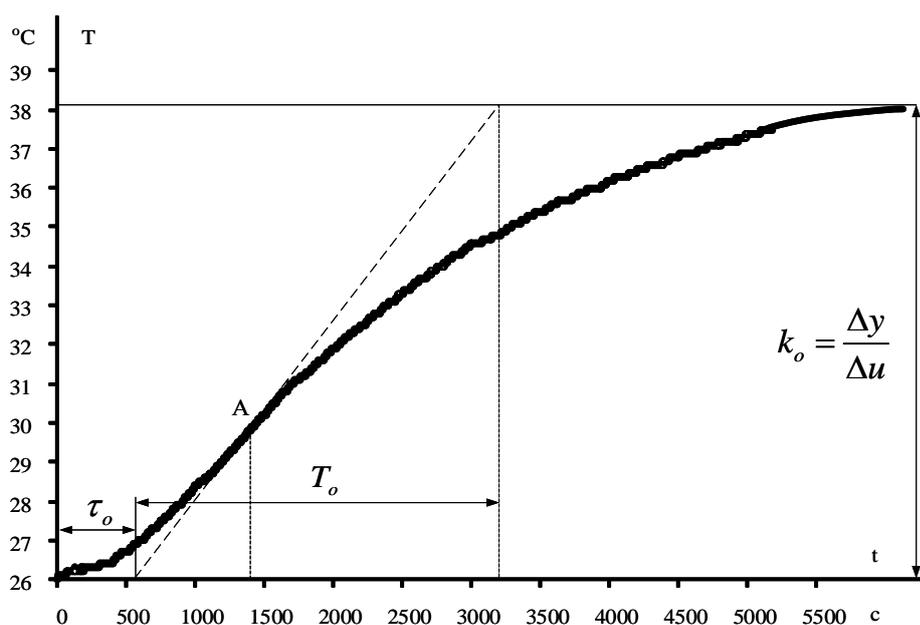


Рисунок 17 – Переходный процесс объекта исследования

Результатом эксперимента является переходный процесс, представленный на рисунке 17 (кривая разгона). В этом случае (рис.17), представляет собой монотонную кривую, характерной точкой является точка А перегиба характеристики, соответствующая моменту времени изменения знака второй производной (в т.А). Постоянную времени объекта T_o можно рассматривать как сумму постоянных времени двух апериодических (инерционных) звеньев с постоянными времени T_{ob1} и T_{ob2} :

$$T_o = T_{ob1} + T_{ob2}. \quad (26)$$

Из переходного процесса на рисунке 13 можно получить параметры линейной математической модели объекта второго порядка в виде передаточной функции.

$$W_{ob}(s) = \frac{k_{ob}}{(1 + T_{ob1}s)(1 + T_{ob2}s)}. \quad (27)$$

где постоянные времени объекта T_{ob1} и T_{ob2} могут вычислены графически из рисунка 13.

Коэффициент передачи объекта K_{ob} управления можно вычислить как отношение изменения выходной температуры объекта к изменению входного значения сигнала управления:

$$k_o = \frac{\Delta T}{\Delta u}. \quad (28)$$

Результаты вычисления постоянных времени объекта, вычисленные графически из рисунка 17:

$$\tau_o = 565 \text{ с},$$

$$T_{ob1} = 845 \text{ с},$$

$$T_{ob2} = 1755 \text{ с},$$

$$T_o = T_{ob1} + T_{ob2} = 2600 \text{ с}.$$

$$k_o = \frac{\Delta T}{\Delta u} = \frac{38,2 - 26}{49 - 1} = 0,2542,$$

При выборе настроечных параметров САУ используют непосредственно вышеперечисленные параметры.

Настройка удаленного объекта может быть выполнена известными в теории автоматического управления средствами, такими как метод Зинглера-Николса [14,15] или эмпирическими формулами (8).

Вычисляем параметры ПИД-регулятора по формуле (8):

$$k_p = \frac{0,74 \cdot T_o}{k_o \cdot \tau_o} = \frac{0,74 \cdot 2600}{0,2542 \cdot 565} = 13,3962,$$

$$T_i = 0,74 \cdot T_o = 0,74 \cdot 2600 = 1924 \text{ с},$$

$$T_d = 0,18 \cdot T_o = 0,18 \cdot 2600 = 468 \text{ с}.$$

Полученные расчетные значения параметров ПИД-регулятора используем для его настройки в программной среде АКИАР и программируем ПЛК с заданными параметрами регулятора. В таблице 4 представлены данные о переходном процессе отлаженной системы управления.

Таблица 5 – данные полученные из архива ПЛК «ВЭСТ-02» после настройки ПИД-регулятора

Время переходного процесса; t,с	Температура шкафа управления; Т,с	Мощность нагревателя; Р,Вт
0	25,9	0
4	25,9	30
8	25,9	57

Продолжение Таблицы 5 – данные полученные из архива ПЛК «ВЭСТ-02» после настройки ПИД-регулятора

время переходного процесса; t,с	Температура шкафа управления; Т,с	Мощность нагревателя; Р,Вт
12	22,9	74
16	22,9	84
20	22,9	90
24	22,9	94
28	22,9	96
32	22,9	97
36	22,9	98
...
11048	36,8	35
11052	36,8	35
11056	36,8	35
11060	36,8	35
11064	36,8	35
11068	36,8	35
11072	36,8	35
11076	36,8	35
11080	36,8	35
...
23568	35,4	30
23572	35,3	29
23576	35,3	28
23580	35,3	28
23584	35,3	28
23588	35,3	28
23592	35,3	28
23596	35,3	28
23600	35,3	28

Результат выполнения предложенной методики настройки замкнутого контура управления представлен на рисунке 14, полученный такими же средствами, какими был получен переходный процесс объекта управления (кривая разгона, рис 13).

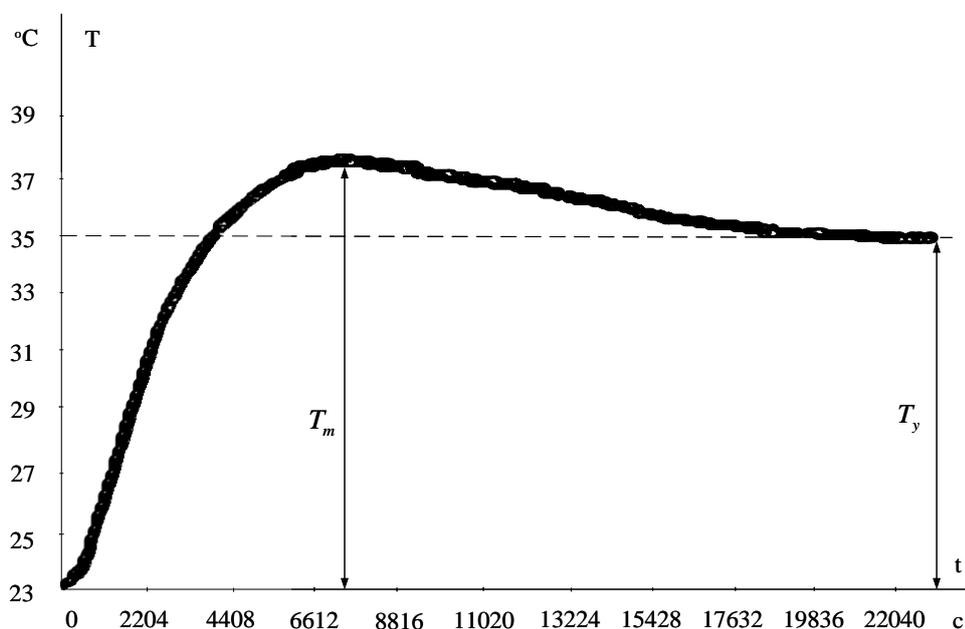


Рисунок 18 – Отлаженный переходный процесс объекта исследования

Допустимое значение перерегулирования для той или иной системы автоматического регулирования может быть установлено на основании опыта эксплуатации подобных систем. В большинстве случаев считается, что запас устойчивости является достаточным, если величина перерегулирования не превышает 10 – 30%.

$$\sigma = \frac{T_m - T_y}{T_y} \cdot 100\% = \frac{14,5 - 12}{12} \cdot 100\% = 20,8\% \quad (29)$$

Вывод:

Результатами эксперимента являются переходные процессы: кривая разгона и переходный процесс отлаженного объекта управления. Сведения получены средствами FBD программирования в среде АКИАР, экспериментальной записи кривой разгона на реальном объекте и настройки системы управления методами ТАУ. Переходный процесс соответствует оптимальному, величина перерегулирования в пределах допустимой величины, что доказывает адекватность настройки замкнутой системы.

Заключение

Предложенный метод удаленной настройки динамических параметров замкнутых систем может быть легко распространен и за рамки систем управления температурным режимом шкафов освещения, где актуальна задача настройки удаленного или труднодоступного объекта управления. Для реализации метода достаточно иметь небольшие навыки FBD программирования весьма схожие со средствами, используемыми в таких популярных программах, как MatLab. Метод содержит три простых этапа: изменение программы – отладку сценария управления в контуре температуры, построенного на функциональных блоках. В которую входит фрагмент FBD структуры с возможностью ручного управления для создания переходного процесса и ПИД-регулятор. Разработка структуры регулятора на основе FBD логики в среде АКИАР так как контроллер на объекте исследования поддерживает работу в данной среде, а так же в программе CoDeSys, в связи с тем что программирование в этой среде осуществляется по международным стандартам, является более известной в сфере программирования контроллеров. Организации эксперимента в рамках действующей системы управления – формирования режима генерации переходного процесса объекта управления (кривая разгона) и, собственно, интеллектуальная часть работы по выбору и реализации современных методов настройки замкнутых систем.

Анализируя результат эксперимента в виде переходного процесса, отлаженной автоматизированной системы управления температурным режимом. Следует отметить длительный по времени переходный процесс обусловленный продолжительным остыванием объекта автоматизации. Значение перерегулирования $\sigma = 20,8\%$ на основании опыта эксплуатации подобных систем, для данной системы является оптимальным, запас

устойчивости в этом случае является достаточным. «Расчет параметров по формулам не может дать оптимальной настройки регулятора, поскольку аналитически полученные результаты основываются на сильно упрощенных моделях объекта. Кроме того, модели используют параметры, идентифицированные с некоторой погрешностью. Поэтому после расчета параметров регулятора желательно сделать его подстройку. Подстройку можно выполнить на основе правил, которые используются для ручной настройки. Эти правила получены из опыта, теоретического анализа и численных экспериментов.»[4] Они сводятся к следующему:

- увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;
- с уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;
- уменьшение постоянной интегрирования уменьшает запас устойчивости;
- увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие, ограничением для увеличения дифференциальной составляющей является чувствительный шаг дискретизации по амплитуде для измеренного значения (для контроллера ВЭСТ составляет 0,3 градуса Цельсия) .

Отметим, что применение правил возможно только после предварительной настройки регулятора по формулам. Попытки настроить регулятор без начального приближенного расчета коэффициентов могут быть безуспешными. Сформулированные выше правила справедливы только в окрестности оптимальной настройки регулятора. Вдали от нее эффекты могут быть иными

Оценивая трудоемкость применения метода, отметим, что основные затраты времени связаны с получением данных о кривой разгона рабочего

объекта управления, однако предложенный метод не включает трудозатраты человека. На выполнение действий, относящихся непосредственно к методу, затрачивается незначительное время.

Значение перерегулирования $\sigma = 20,8\%$ на основании опыта эксплуатации подобных систем, для данной системы является допустимым, запас устойчивости в этом случае является достаточным.