

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий  
Кафедра «Системы автоматики, автоматизированное управление и  
проектирование»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ С.В. Ченцов  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СЖИГАНИЯ АКРОЛЕИНОВЫХ  
ОТХОДОВ**

Руководитель	_____	___06. 2021 г.	старший преподаватель И.В. Солопко
Выпускник	_____	___06. 2021 г.	Р.И. Байрамов
Нормоконтролер	_____	___06. 2021 г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2021

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Разработка автоматизированной системы управления технологически процессом сжигания акролеиновых отходов» содержит 60 страниц текстового документа, 32 иллюстраций, 9 таблиц, 19 использованных источников.

РАЗРАБОТКА, АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, СЖИГАНИЕ, АКРОЛЕИНОВЫЕ ОТХОДЫ.

Целью написания выпускной квалификационной работы является организационное сопровождение и технико-экономическое обоснование проведения работ по модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом сжигания акролеиновых отходов.

При написании работы были поставлены следующие задачи:

- 1 Выполнить анализ существующих методов сжигания акролеиновых отходов;
- 2 Выполнить разработку математической модели процесса сжигания;
- 3 Выполнить проектирование системы управления.

Объектом исследования является автоматизированная система управления печью по каналам расхода газ-воздух по температуре в печи. Предметом исследования является система управления процессом сжигания акролеиновых отходов.

Актуальность темы. В настоящее время актуальной проблемой является оптимизация процесса сгорания. Повышенные требования по уменьшению вредных выбросов с одной стороны, и острая экономическая ситуация с другой стороны, побуждают к повышению эффективности и качества сжигания различных видов топлива.

Одним из направлений исследований в данной отрасли является модернизация систем управления технологических процессов сжигания акролеиновых отходов в среде моделирования SimInTech.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Анализ научно-технической литературы и патентов.....	6
1.1 Краткое описание технологического процесса сжигания акролеиновых отходов .....	6
1.2 Анализ патентов.....	8
1.3 Постановка задачи разработки автоматической системы управления процессом сжигания акролеиновых отходов .....	10
2 Расчетная часть проводимого исследования.....	11
2.1 Структурная схема автоматического управления системы сжигания акролеиновых отходов.....	11
2.2 Расчет математической модели регулирования температуры в печи ..	12
3 Проектирование систем управления .....	22
3.1 Выбор среды моделирования.....	22
3.2 Моделирование и анализ полученных результатов .....	50
Заключение .....	57
Список использованных источников .....	58

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время актуальной проблемой является оптимизация процесса сгорания. Повышенные требования к снижению вредных выбросов с одной стороны, и острая экономическая ситуация с другой стороны, стимулируют к повышению эффективности и качества сжигания различных видов топлива.

Для разработки высококачественной системы автоматического управления необходимо изучить факторы, влияющие на процесс горения, существующие методы снижения вредных выбросов, а также конструктивные и технические решения для автоматизации.

В последние десятилетия в результате значительного увеличения объемов производства полимерных материалов и их использования во всех сферах жизнедеятельности населения, актуальной стала проблема изучения большого количества приоритетных химических веществ и материалов с точки зрения опасности для человека и окружающей среды.

Одним из направлений исследований в данной отрасли является модернизация систем управления технологических процессов сжигания акролеиновых отходов.

Автоматизация производства играет важную роль в современной промышленности. Внедрение автоматизации в производстве позволяет повысить эффективность труда, улучшить качество выпускаемой продукции и создать оптимальное использование всех ресурсов предприятия.

В данной работе разрабатывается и исследуется система автоматического управления сжигания отходов. В качестве отходов используется акролеин.

В настоящее время одним из ненасыщенных алифатических альдегидов широкое применение в промышленности получил акролеин. Акролеин является сырьем для промышленного синтеза аллилового спирта, акрилонитрила и его производных, значительное количество акролеина расходуется на производство метионина.

Акролеин является перспективным материалом для создания аллилового спирта и глицерина, необходимых для производства пластмасс.

Целью написания выпускной квалификационной работы является организационное сопровождение и технико-экономическое обоснование проведения работ по модернизации автоматизированной системы управления технологическим процессом сжигания акролеиновых отходов.

При написании работы были поставлены следующие задачи:

- 1 Выполнить анализ существующих методов сжигания акролеиновых отходов;
- 2 Выполнить разработку математической модели процесса сжигания;
- 3 Выполнить проектирование системы управления.

Объектом исследования является автоматизированная система управления печью по каналам расхода газ-воздух по температуре в печи. Предметом исследования является система управления процессом сжигания акролеиновых отходов.

## **1 Анализ научно-технической литературы и патентов**

### **1.1 Краткое описание технологического процесса сжигания акролеиновых отходов**

Сжигание акролеиновых отходов должно выполняться с ГОСТ Р 54205-2010, а процесс создания автоматизированной системы сжигания – в соответствии с ГОСТ 34.601-90.

Сжигание жидких или газовых отходов акролеина осуществляется в печи. На сжигание поступают следующие отходы:

#### **1 Постоянные:**

- кислые воды промывки синтетического газа из производства акролеина;
- отходы из сети газа, загрязненного акролеиновыми продуктами;
- отходы из сети жидких отходов акролеина;
- выбросы воздушки сборника отходов;
- отходы из сети воздуха, загрязненного токсичными продуктами;
- отходы сети азота, загрязненного серными продуктами.

#### **2 Периодические или аварийные:**

- утечки участка кислот с производства акролеина;
- утечки участка акролеина с производства метилтиопропионового альдегида.

Температура в печи, необходимая для сжигания отходов, создается за счет горения топливного газа, поступающего на установку. При пуске печи температура в камере горения поднимается до 500°C.

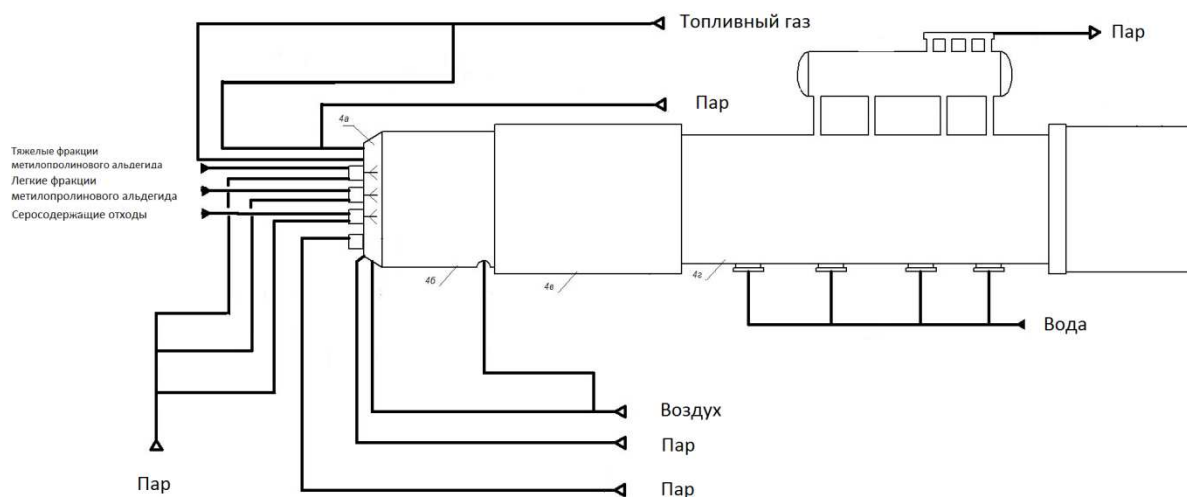


Рисунок 1.1 – Технологическая схема печи

Технологическая схема, представленная на рисунке 1.1, состоит из печи, в которую подаются отходы на очистку.

Расход отходов может меняться в количестве от 250 до 650 кг/ч.

Лёгкие фракции метилтиопропионового альдегида подаются на форсунку печи в количестве не более 200 кг/ч.

Тяжёлые фракции метилтиопропионового альдегида подаются на форсунку печи в количестве не более 400 кг/ч. Все жидкие отходы, поступающие на сжигание, распыляются в печи паром из сети.

Давление пара, подаваемого на распыление лёгких фракций метилтиопропионового альдегида равно от 0,55 до 0,6 МПа (от 5,5 до 6,0 кгс/см<sup>2</sup>).

Давление пара, подаваемого на распыление тяжёлых фракций метилтиопропионового альдегида равно от 0,25 до 0,45 МПа (от 2,5 до 4,5 кгс/см<sup>2</sup>). Давление пара, подаваемого на распыление водно-сернистых отходов равно от 0,65 до 0,8 МПа (от 6,5 до 8,0 кгс/см<sup>2</sup>).

По мере подачи отходов на пиролиз для поддержания горения необходимо увеличивать температуру в печи.

Температура в печи, необходимая для сжигания отходов, создаётся за счёт горения топливного газа, поступающего на установку.

Давление топливного газа, подаваемого на установку, равно в пределах 0,16 – 0,18 МПа (1,6 – 1,8 кгс/см). Расход топливного газа, подаваемого на печь равен в пределах от 10 до 125 м<sup>3</sup>/ч. Необходимый для горения воздух подаётся в печь турбокомпрессором из атмосферы.

Расход воздуха равен в пределах от 1000 до 4500 м<sup>3</sup>/ч с учетом соотношения газ – воздух 1/2. Давление подаваемого воздуха горения равно 0,003 МПа (0,03 кгс/см<sup>2</sup>). Горячие дымовые газы, входящие из камеры горения, охлаждаются в котле-утилизаторе печи. При этом получается пар давлением не более 1,30 МПа [1].

## 1.2 Анализ патентов

Печи сжигания отходов предназначены по большей части для защиты окружающей среды так как акролеиновые отходы вредны а точнее его пары очень ядовиты, они раздражающе действуют на слизистые оболочки и обладают общим токсичным действием. Процесс очень важный и область его применения, как видно, огромна. Для бакалаврской работы по данной теме был проведен анализ, существующий решений

Известна печь для сжигания твердых отходов (см. патент № 2106575, F23G 5/00, 1998г., автор Петров Алексей Алексеевич) [2]

Изобретение относится к области охраны окружающей среды, а именно к средствам огневого обезвреживания преимущественно твердых, мягких бытовых отходов, и может быть использовано совместно с утилизацией некондиционного твердого ракетного топлива. Из уровня техники известны печи для сжигания твердых отходов, содержащие шахтную камеру сгорания с загрузочным бункером и колосниковой решеткой, камеру дожигания, систему подачи воздуха и горелочное устройство.

Установка для сжигания отходов работает следующим образом. Через загрузочный люк камера сгорания заполняется твердыми отходами, по патрубку в воздуховод подается воздух, который через перфорированные



стенки поступает в основную камеру сгорания, в камеру дожигания и во вторичную камеру дожигания. Заложённое в камеры газогенераторов некондиционное твёрдое ракетное топливо поджигается от запального устройства, а образующиеся раскалённые до высокой температуры газы по перфорированным газоподводящим патрубкам поступают в камеру сгорания и воспламеняют твёрдые отходы.

Благодаря равномерному размещению перфорированных газоподводящих патрубков по объёму камеры сгорания происходит быстрое сжигание отходов, при этом поступающий через перфорированную стенку воздух пронизывает слой отходов, аэрируя его и обеспечивая полное и интенсивное выгорание.

Недоокисленные продукты сгорания поступают в камеру дожигания, где, смешиваясь с потоком воздуха, полностью выгорают, а отходящие газы, очищенные в циклоне, выбрасываются в атмосферу. При этом отделенные в циклоне твёрдые частицы транспортируются во вторичную камеру дожигания, где вместе с несгоревшим шлаковым остатком, поступающим через колосниковую решетку из камеры сгорания, окончательно выгорают и через колосниковую решетку проваливаются в золоборник. Для обеспечения непрерывной работы установки загрузочной люк и золоборник могут быть оборудованы специальными устройствами.

Наиболее близким изобретением по теме работы является способ очистки способ очистки газовых выбросов акролеина предприятия «Пермский завод им. С.М. Кирова» (см. патент №2150989, В01D, 53/44, 2000г., авторы Аликин В.Н.; Кузьмицкий Г.Э.; Чернышова С.В.; Осташевский Ю.А) [3].

Изобретение относится к очистке газовых выбросов химических реакторов при производстве смол, лакокрасочной материалов, глицерина, печей сжигания, двигателей внутреннего сгорания. Способ очистки газовых выбросов от акролеина, включающий каталитическую очистку газа в реакторе, отличающийся тем, что для очистки газ сначала пропускают через коллектор-ловушку, заполненную керамическими пористыми элементами и 5 – 10%-ным водным раствором гипохлорита натрия, затем через первичный теплообменник,

где газ подогревают до температуры 80°C – 100°C, затем он проходит через вторичный теплообменник с подогревом газа до 250°C – 350 °C, затем газ подают в каталитический реактор дожигания, с размещенными в нем пластинами, покрытыми каталитическим слоем палладия или платины, и с поступающим в него сжатым атмосферным воздухом для поддержания каталитического процесса, после чего очищенный газ через рубашку первичного теплообменника выводят в атмосферу.

При такой схеме очистки отработавших газовых выбросов процесс очистки от акролеина становится эффективнее из-за предварительной очистки. Процесс очистки становится относительно простым, надежным, неэнергоемким, экономичным, безопасным.

### **1.3 Постановка задачи разработки автоматической системы управления процессом сжигания акролеиновых отходов**

В рамках данного раздела рассмотрен технологический процесс сжигания акролеиновых отходов. Проведен обзор существующих патентов и научно-технической литературы. Для реализации системы автоматического управления процессом сжигания акролеиновых отходов, необходимо произвести разработку математической модели объекта исследования и моделирование системы управления, что будет сделано в следующих разделах выпускной квалификационной работы.

Основная задача управления технологическим процессом сводится к регулированию температуры в печи путем изменения расхода газа с компенсацией по расходу воздуха.

## 2 Расчетная часть проводимого исследования

### 2.1 Структурная схема автоматического управления системы сжигания акролеиновых отходов

Все возмущения, которые поступают по действующим в процессе трубопроводам, представляют собой линии подачи природного газа и воздуха, причем перед попаданием воздуха в печь, его количество должно быть измерено. Поэтому выбирается система регулирования температуры в печи путем изменения расхода газа с компенсацией по расходу воздуха на входе в печь. Зная количество подаваемого воздуха, процесс сгорания будет проходить интенсивнее, тем самым увеличится производительность всего процесса.

Структурная схема двухконтурной системы регулирования температуры в печи путем изменения расхода природного газа с компенсацией по расходу воздуха имеет вид, представленный на рисунке 2.1.

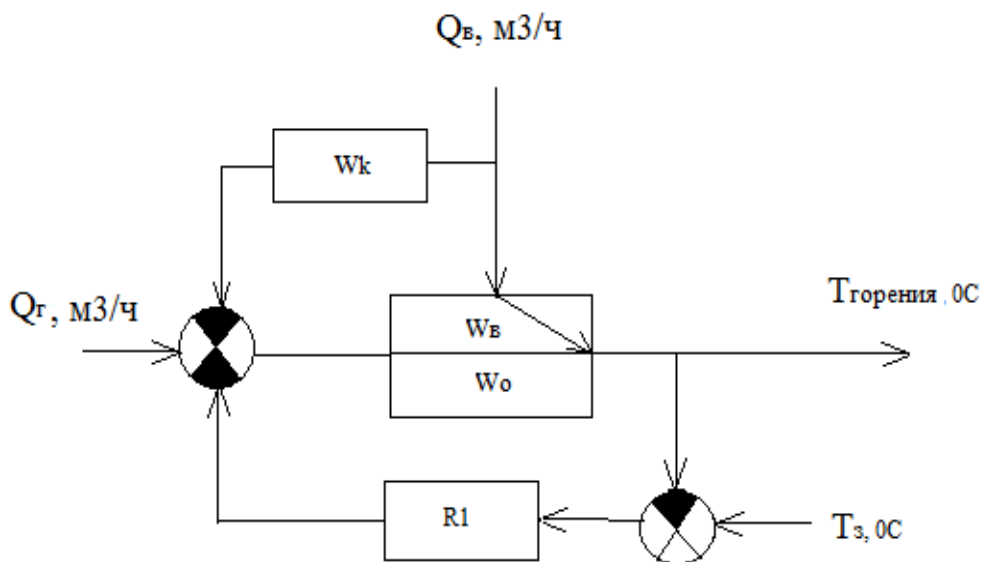


Рисунок 2.1 – Структурная схема системы управления

Система автоматизации включает в себя объект автоматизации и систему управления этим объектом. При их взаимодействии система получает требуемый результат и, тем самым, выполняется задача управления.

Для обеспечения высокой производительности технологического процесса сжигания акролеиновых отходов, необходимо контролировать и регулировать ряд параметров [4].

## **2.2 Расчет математической модели регулирования температуры в печи**

В процессе работы на объект поступает основное возмущающее воздействие  $K$  – имитационный сигнал с датчика температуры.

Информация о текущем значении по обратной связи поступает в порпорционально-интегральный регулятор и сравнивается с заданным значением, в результате чего вырабатывается управляющий сигнал для компенсации отклонений выходных параметров системы.

Экспериментально был получен график переходного процесса. Эксперимент проводился в течение 25 минут.

Для того чтобы получить математическую модель системы, полученный переходный процесс усредняется до S-образной формы и заносится в таблицу.

Усредненный график переходного процесса представлен на рисунке 2.1.

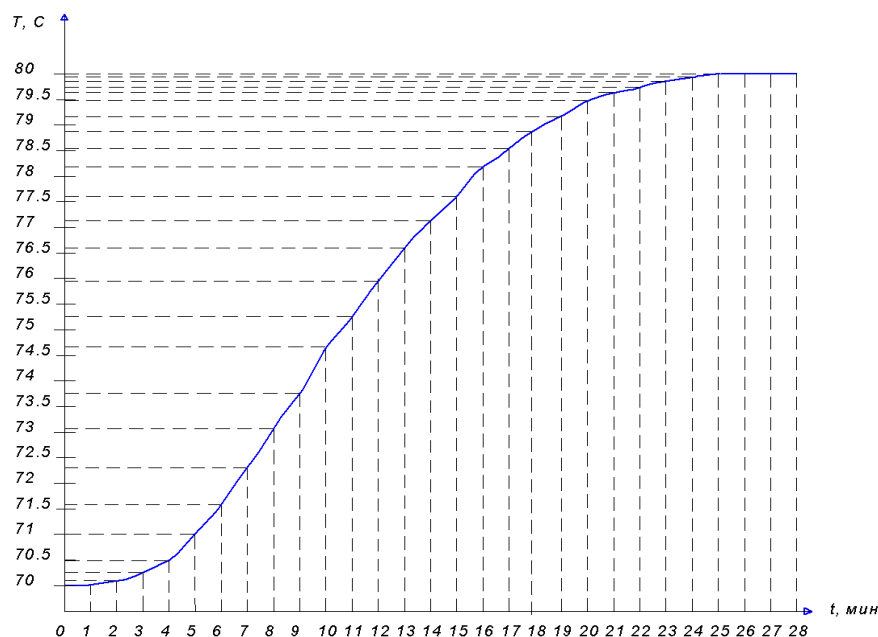


Рисунок 2.2 – Усреднённый график переходного процесса, доведённый до S-образной формы

После этого определяется математическая модель переходного процесса. Поиск математической модели проводится по методу площадей.

Для начала проводится снятие координат с усреднённого графика переходного процесса за время равное 25 минутам, с интервалом в 1 минуту: Все полученные данные заносятся в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Расчётные значения

t	T	$\sigma$	$1-\sigma$	$\theta$	$1-\theta$	$(1-\sigma)(1-\theta)$	$1-2\theta+\frac{\theta^2}{2}$	$(1-\sigma)(1-2\theta+\frac{\theta^2}{2})$
0	70	0	1	0	1	1	1	1
1	70.01	0.001	0.999	0.0894	0.9106	0.901	0.809	0.8082
2	70.1	0.01	0.99	0.1787	0.8213	0.7957	0.627	0.6207
3	70.25	0.025	0.975	0.2681	0.7319	0.6879	0.454	0.4426
4	70.5	0.05	0.95	0.3575	0.6425	0.577	0.292	0.2774
5	71	0.1	0.9	0.4469	0.5531	0.4583	0.139	0.1251
6	71.6	0.16	0.84	0.5362	0.4638	0.3453	-0.004	-0.0034
7	72.3	0.23	0.77	0.6256	0.3744	0.241	-0.138	-0.1063

8	73.1	0.31	0.69	0.715	0.285	0.1482	-0.262	-0.1808
9	73.75	0.375	0.625	0.8044	0.1956	0.0729	-0.376	-0.235
10	74.65	0.465	0.535	0.8937	0.1063	0.0099	-0.481	-0.2573
11	75.25	0.525	0.475	0.9831	0.0169	-0.0378	-0.576	-0.2736
12	75.95	0.595	0.405	1.0725	-0.0725	-0.072	-0.662	-0.2681
13	76.6	0.66	0.34	1.1619	-0.1619	-0.0938	-0.738	-0.2509
14	77.1	0.71	0.29	1.2512	-0.2512	-0.1085	-0.804	-0.2332
15	77.6	0.76	0.24	1.3406	-0.3406	-0.1133	-0.861	-0.2066
16	78.8	0.82	0.18	1.43	-0.43	-0.1027	-0.908	-0.1634
17	78.55	0.855	0.145	1.5193	-0.5193	-0.0969	-0.945	-0.137
18	78.85	0.885	0.115	1.6087	-0.6087	-0.0882	-0.973	-0.1119
19	79.15	0.915	0.085	1.6981	-0.6981	-0.0735	-0.991	-0.0842
20	79.5	0.95	0.05	1.7875	-0.7875	-0.0481	-0.999	-0.05
21	79.6	0.96	0.04	1.8768	-0.8768	-0.0424	-0.998	-0.0399
22	79.75	0.975	0.025	1.9662	-0.9662	-0.029	-0.987	-0.0247
23	79.85	0.985	0.015	2.0556	-1.0556	-0.0189	-0.967	-0.0145
24	79.9	0.99	0.01	2.145	-1.145	-0.0136	-0.937	-0.0094
25	80	1	0	2.2343	-1.2343	0	-0.897	0

$$F_1 = 28.534 - 0,5 * 1 = 27,034.$$

Перестраивается исходная величина  $\sigma$  в другой масштаб времени и за единицу принимается величина, рассчитываемая по формуле.

Далее находится постоянный коэффициент по формуле:

$$b = \frac{100}{100} = 1$$

Получаем передаточную функцию управляемого объекта (печи сжигания отходов) без запаздывания вида (2.1):

$$W_1(p) = \frac{1}{27p+1}, \quad (2.1)$$

Для того, чтобы рассчитать запаздывание объекта, проводится измерение  $0.001 \Delta y(\infty)$  на графике переходного процесса. Получение величины запаздывания.

В итоге, получается передаточная функция вида (2.2):

$$W_2(p) = e^{-2p}, \quad (2.2)$$

Передаточная функция объекта (печи сжигания отходов) в целом принимает вид (2.3):

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) = \frac{1}{27p+1} \cdot e^{-2p}, \quad (2.3)$$

На современных производственных объектах для решения сложных задач технического управления моделируется вся система, что значительно упрощает анализ и изучение свойств объектов, контролирующих и регулирующих эту систему управления. В настоящее время моделирование используется в различных областях науки и техники: автоматика, вычислительной и измерительная техника, математика, радиотехника и связь. Основной особенностью моделирования является возможность выявления точных математических описаний объектов управления за короткое время.

Целью разработки математической модели печи, является обоснование конфигурации системы управления и выбора параметров.

В большинстве случаев тепловой объект – это объект управления, динамические характеристики которого точно описываются первичным апериодическим звеном.

Базовым элементом системы управления является регулятор, который обычно выбирают либо ПИ типа, либо ПИД типа. Существует ряд критериев, по которым выбирается тип и параметры регулятора.

1 Исследование ПИ-регулятора с апериодическим объектом первого порядка с запаздыванием.

В качестве ПИ алгоритма управления выбран алгоритм Циглера-Николса, как наиболее известный и широко применяемый алгоритм (2.4):

$$G_c(s) = K_c \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right), \quad (2.4)$$

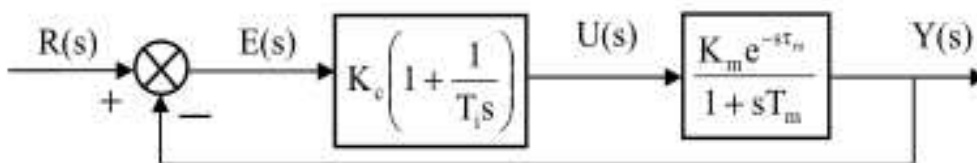


Рисунок 2.3 – Исследование ПИ-регулятора с апериодическим объектом первого порядка с запаздыванием

Таблица 2.2 – Параметры ПИ регулятора Циглера-Николса

Rule	$K_c$	$T_i$	Comment
Ziegler and Nichols(1942). Model: Method 2	$0.9T_m$  $K_m \square_m$	$3.33 \square_m$	Quarter decay ratio; $\square_m T_m \square 1$

1 Исследование ПИД-регулятора с апериодическим объектом первого порядка с запаздыванием.

В качестве ПИД алгоритма управления также выбран алгоритм Циглера-Николса, как наиболее известный и широко применяемый алгоритм (рисунок 2.4).

$$G_c(s) = K_c \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right), \quad (2.5)$$



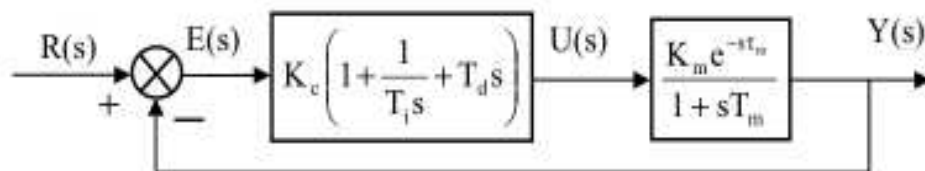


Рисунок 2.4 - Исследование ПИД-регулятора с апериодическим объектом первого порядка с запаздыванием

Таблица 2.3 – Параметры ПИД регулятора Циглера-Николса

Rule	$K_c$	$T_i$	$T_d$	Comment
Ziegler and Nichols (1942). Model: Method 2	$\frac{x_1 T_m}{K_m T_m}$	$2\tau_m$	$0,5\tau_m$	Quarter decay ratio; $1,2 \leq x_1 \leq 2$

Согласно данным о динамических параметрах исследуемой печи:  $\tau = 2$  мин,  $T_m = 27$  мин,  $K_m = 1^\circ\text{C}$ , алгоритмы Циглера-Николса позволяют получить следующие значения коэффициентов ПИ и ПИД регулятора:

1. ПИ регулятор.

$$\frac{0,9 * 27}{2} = 12,15$$

$$\frac{1}{6,66} = 0,15.$$

2. ПИД регулятор.

$$1,2 * \frac{27}{2} = 16,2$$

$$\frac{1}{2 * 2} = 0,25.$$

3. Также необходимо рассмотреть более современный алгоритм РМА для вычисления коэффициентов ПИД регулятора, как альтернативу алгоритмов Циглера-Николса.

Таблица 2.4 – Параметры ПИД регулятора РМА

Rule	$K_c$	$T_i$	$T_d$	Comment
РМА (2006) Model: Method 2	$\frac{0,59T_m}{K_m\tau_m}$	$2\tau_m$	$2\tau_m$	
			$\tau_m$	Alternative

Алгоритм РМА для вычисления коэффициентов ПИД регулятора позволяет получить следующие величины коэффициентов:  $\tau = 2$  мин,  $T_m = 27$  мин,  $K_m = 1^\circ\text{C}$ :

$$\frac{0,59 * 0,27}{2} = 7,965 ,$$

$$\frac{1}{4} = 0,25 .$$

Результаты моделирования ПИД регулятор РМА, выбранного для применения в работе (коэффициенты вычислены по алгоритмам РМА и Циглер-Николса) представлены в виде графиков на рисунке 2.5.

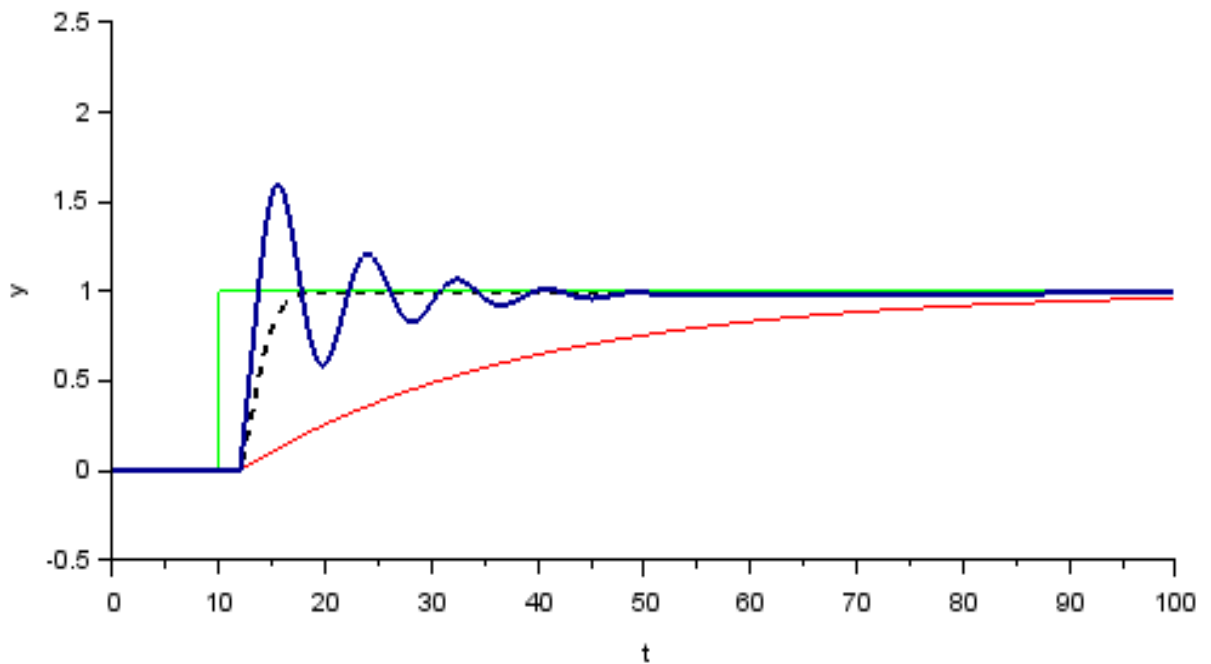


Рисунок 2.5 – Графики результатов моделирования ПИД регуляторов по алгоритмам РМА и Циглера-Николса

Как видно из графиков алгоритм РМА позволил исключить перерегулирование температуры и фактически имеет минимальное время выхода печи на заданную температуру.

Рассмотрим и произведем моделирование регулятора отношений для системы расхода газ-воздух.

Задача регулировки отношений возникает, когда важно поддерживать не абсолютные значения параметров, а соотношение между ними. Например, если решается задача смешивания компонентов в заданных пропорциях, поддерживается горение с заданным процентным содержанием кислорода в горючей смеси и т.п.

Пример решения данной задачи представлен на рисунке 2.6. Первый регулятор поддерживает выходную величину  $y_1$  равной значению уставки  $r_1$ . Значение уставки второго регулятора пропорционально регулируемой величине первого регулятора:  $r_2(t) = ay_1(t)$ . Величина отношения устанавливается блоком а на рис. 2.6 и может изменяться в соответствии с алгоритмом работы системы. Сигнал желательно брать именно с выхода системы  $y_1$  – это повышает

точность, поскольку  $y_1(t)$  отличается от  $r_1(t)$  на величину погрешности, которая в динамике может быть значительной. Кроме того, величина  $y_1(t)$  всегда изменяется с некоторой задержкой относительно  $r_1(t)$ . Поэтому величина  $y_2(t)$  будет отставать по времени от желаемого значения  $ay_1(t)$ .

Смягчить эту проблему позволяет структура, показанная на рис. 2.7. Здесь блок  $a$  имеет два входа и описывается выражением (2.6):

$$r_2(t) = a[\gamma r_1(t) + (1 - \gamma)y_1(t)], \quad (2.6)$$

где  $\gamma$  - параметр, определяющий вклад  $r_1(t)$  или  $y_1(t)$  в величину  $r_2(t)$ . При  $\gamma = 0$  эта структура идентична структуре на рисунке 2.6.

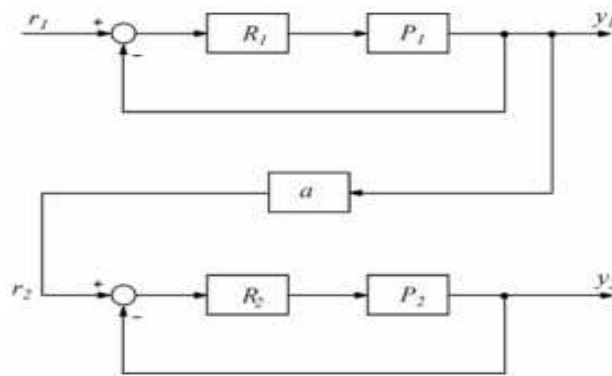


Рисунок 2.6 – ПИД-регулятор отношений  $y_2/y_1 = a$

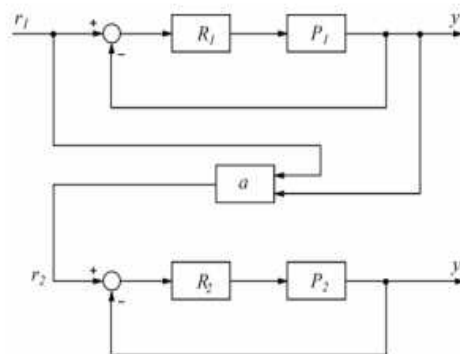


Рисунок 2.7 – ПИД-регулятор отношений  $y_2/y_1 = a$  с увеличенным быстродействием

Модель совместного регулирования потоков газа и воздуха использует алгоритм РМА для настройки ПИД регуляторов. Модель состоит из четырех информационных потоков:

- ПИД регулятор газа;
- модель объекта;
- последовательный ПИД регулятор воздуха;
- комбинированный ПИД регулятор воздуха.

Базовым элементом системы управления является регулятор, который обычно выбирают либо ПИ типа, либо ПИД типа.

В качестве методов настройки параметров регулятора были использованы методы Циглера-Николса и РМА. Метод Циглера-Николса наиболее известный и широко применяемый алгоритм и прост в использовании ,но в данном случае при его использовании перерегулирование процесса достигает 50%, что нельзя считать допустимым для печи данного вида.

Метод РМА позволил исключить перерегулирование температуры и фактически имеет минимальное время выхода печи на заданную температуру, что наиболее подходит для данного процесса.

Модель совместного регулирования потоков газа и воздуха использует алгоритм РМА для настройки ПИ регуляторов.

## 3 Проектирование систем управления

### 3.1 Выбор среды моделирования

В рамках данного раздела работы выполним выбор средств автоматизации и средств автоматизации.

ОВЕН. СП310 – линейка сенсорных панелей оператора. Служит для наглядного отображения значений параметров и оперативного управления, а также ведения архива событий или значений.

Программирование панелей производится посредством программы «Конфигуратор СП300».

Корпус панелей оператора линейки СП310 монтируется в отверстие (прямоугольное) щита управления и имеет степень защиты IP65.

Функциональные возможности панели оператора:

- перенос программы в панель с помощью USB-кабеля или flash-накопителя (в модификациях СП307-Р, СП310-Р и СП315-Р);
- поддержка проектов от панели СП270 в полном объеме;
- архивирование данных на USB-flash-накопитель осуществляется в формате CSV. При архивировании данные могут быть отображены в виде таблицы, графика или их можно передать по сети в контроллер;
- построение графиков: XY-график, график реального времени, показывающий состояние переменной на текущий момент без просмотра истории (в целях экономии памяти); график с записью истории;
- ведение истории событий (пример: запись аварийных состояний) в виде таблиц;
- использование загруженных изображений формата jpg как активный элемент, например, как кнопку или как подложку;
- создание анимации из загруженных изображений формата jpg (на пример: вращение вала с определенной частотой, слив определенного объема жидкости и т.д.)

-12-ти уровневое разграничением прав доступа к интерфейсу панели с присвоением логина и пароля на каждом уровне [5].

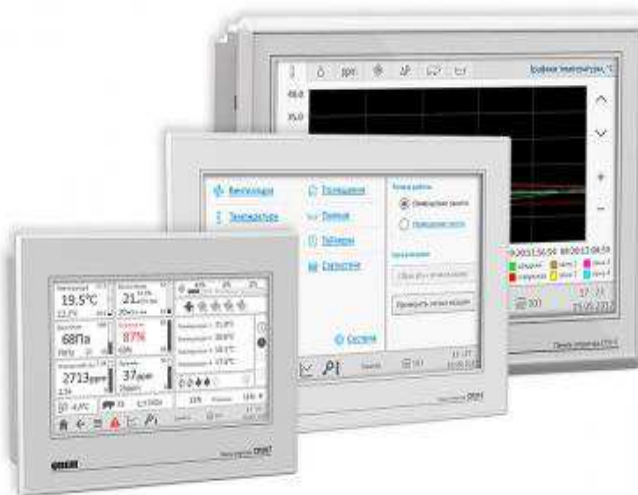


Рисунок 3.1 – Сенсорная панель оператора ОВЕН СП310

Произведём сравнительную характеристику микроконтроллеров.

Программируемые логические контроллеры ОВЕН ПЛК150 выполнены в полном соответствии со стандартом ГОСТ Р 51840-2001 (IEC 61131-2), что обеспечивает высокую аппаратную надежность.

Оптимально для построения распределенных систем управления и диспетчеризации с использованием как проводных, так и беспроводных технологий.

В контроллере изначально заложены мощные вычислительные ресурсы при отсутствии операционной системы:

- высокопроизводительный процессор RISC архитектуры ARM9, с частотой 180МГц компании Atmel;
- большой объем оперативной памяти – 8МБ;
- большой объем постоянной памяти – Flash память, 4МБ;
- объем энергонезависимой памяти, для хранения значений переменных – до 16КБ.



Рисунок 3.2 –Контроллер ОВЕН ПЛК-150

В таблице 3.1 представлены технические параметры контроллера ОВЕН ПЛК-150.

Таблица 3.1 – Технические параметры

Параметры	
Количество каналов	1
Количество дискретных входов	6
Количество дискретных выходов	4
Количество аналоговых входов	4
Количество аналоговых выходов	2
Интерфейс	RS-232 RS-485 Ethernet USB-Device
Аналоговые выходы по току	4...20мА
Аналоговые выходы по напряжению	0..10В
Напряжение питания	От 18 до 28 В постоянного тока
Потребляемая мощность	35ВА
Степень защиты корпуса	IP20 со сторон передней панели, IP00 со стороны клемм

Широкие возможности самодиагностики контроллера:

-встроенный аккумулятор, позволяющий «пережить» пропадание питания – выполнять программу при пропадании питания, и переводить



выходные элементы в «безопасное состояние». Время «пережидания» настраивается пользователем при создании проекта;

-встроенные часы реального времени;

-возможность создавать и сохранять архивы на Flash контроллера.

Условия эксплуатации:

-расширенный температурный рабочий диапазон окружающего воздуха: от минус 20 °С до +70 °С;

-верхний предел относительной влажности воздуха - 80 % при 25 °С и более низких температурах без конденсации влаги;

-атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа [13].

По устойчивости к климатическим воздействиям при эксплуатации ПЛК160 соответствует группе исполнения В4 по ГОСТ 12997-84.

По устойчивости к механическим воздействиям при эксплуатации ПЛК160 соответствует группе исполнения N2 по ГОСТ 12997.

Maple – это 32-битная ARM-плата производства LeafLabs. Вместе с Maple IDE, линия макетных плат LeafLabs Maple имеет UX типа Arduino, соединенную с мощностью 32-битных процессоров ARM [1].



Рисунок 3.3 – Maple

Микроконтроллер имеет следующие характеристики (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Технические характеристики

Процессор	32-битный процессор ARM Cortex M3
Тактовая частота	72МГц
Напряжение питания	3-12В
Цифровые входы / выходы	34
Аналоговые входы	9
Постоянный ток через вход / выход	40Ма
Постоянный ток для вывода 3.3 В	500 мА

Микроконтроллеры семейства AVR, производимые фирмой ATMEL, считаются в настоящее время самыми быстродействующими среди восьмиразрядных микроконтроллеров, примерно в четыре раза быстрее за PIC-контроллеры.

Кроме того, они потребляют совсем немного электроэнергии и могут работать в четырех режимах экономии энергии [6].

Микроконтроллеры данного семейства, как и микроконтроллеры семейства ARM, основаны на RISC-архитектуре. Это универсальные по своему функционалу микросхемы, которые могут выполнять различные операции, управлять какими-либо устройствами и взаимодействовать между собой потребляя совсем мало энергии.

Одним из преимуществ данных микроконтроллеров является применение конвейера [7].

Во время выполнения текущей операции одновременно выполняется выборка из памяти и дешифрация кода следующей команды.

В результате этого, множество команд выполняется за один такт.

Еще одна особенность AVR-микроконтроллеров – архитектура основана на регистрах. Наличие 32 восьмибитных регистров общего назначения позволяет при решении задач практически не обращаться к оперативной памяти

и не использовать стек.

Семейство контроллеров AVR включает в себя множество микроконтроллеров различной конфигурации, с разным объемом памяти, разным количеством портов ввода-вывода и с множеством других дополнительных устройств. Они выпускаются в различных типах корпусов: PDIPс количеством ножек от 8 до 40, SOIC – с количеством выводов от 8 до 20, многовыводных корпусах TQFRили MLF (до 64 выводов).

Данное семейство разделяется еще на четыре подсемейства: Classic, Tini, Mega и XМega. Микроконтроллеры семейства Classicуже практически нигде не производятся, однако все еще распространены, так как для них разработано огромное количество программ.

Контроллеры семейства Classicсчитаются самыми простыми среди микроконтроллеров AVR, они совместимы даже с микроконтроллерами семейства Mega.

Это достигается специальным установочным битом, при программировании которого Mega-процессор функционирует как Classic. Семейство Tini предназначается для использования в самых простых устройствах, однако часть микроконтроллеров данного семейства не имеет способа программирования по последовательному интерфейсу. Семейство XМegaориентировано на улучшение производительности. Их характеристики в несколько раз лучше характеристик устройств других семейств. Однако они являются слишком дорогими и используются в приложениях с наиболее жесткими требованиями [8].

К особенностям Mega-контроллеров относят:

- способность самопрограммирования;
- возможность синхронизации как от внешнего сигнала синхронизации, так и от встроенного RC-генератора с внутренней или внешней времязадающей RC-цепочкой или с внешним резонатором;
- объем оперативной памяти от 1 до 4 кБ;
- объем FLASH-памяти от 8 до 128 кБ;

- память данных на основе EEPROM;
- возможность программирования непосредственно через последовательные интерфейсы SPI и JTAG;
- существует возможность установить защиту от чтения и модификации памяти программ и данных;
- несколько способов понижения энергопотребления;
- многоуровневая система прерываний;
- поддержка очереди прерываний.
- выводы могут быть запрограммированы как входные, так и выходные, независимо друг от друга.

Кроме микропроцессора, портов ввода-вывода и памяти данные микроконтроллеры содержат дополнительные периферийные устройства, находящиеся также внутри микросхемы. Это такие как:

- встроенные таймеры-счетчики – два 8-разрядных и два 16-разрядных;
- генератор сигнала с широтно-импульсной модуляцией;
- аналоговый компаратор;
- сторожевой таймер WDT;
- последовательный двухпроводный интерфейс TWI;
- последовательный синхронный интерфейс SPI;
- десятиразрядный аналогово-цифровой преобразователь;
- полнодуплексный универсальный асинхронный приемопередатчик (UART);
- полнодуплексный универсальный синхронный/асинхронный приемопередатчик (USART).

Микроконтроллеры семейства MCS-51 разработаны компанией Intel. Они появились давно, однако по сегодняшний день пользуются огромной популярностью из-за своей простоты. Базовым микроконтроллером данного семейства является i8051 со следующими характеристиками:

- восьмиразрядная шина данных;
- встроенный тактовый генератор;

- адресное пространство памяти программ составляет 64 кБ;
- адресное пространство памяти данных составляет 64 кБ;
- внутренняя память программ составляет 4 кБ;
- внутренняя память данных составляет 128 Б;
- возможности побитовых операций;
- тридцать две двунаправленные линии ввода-вывода;
- два 16-разрядных таймера-счетчика;
- векторная система прерываний с двумя уровнями приоритета.

Именно данный микроконтроллер по сегодняшний день является стандартом среди восьми разрядных микроконтроллеров.

Контроллеры данного семейства имеют в своем составе до 1 кБ внутренней оперативной памяти и до 32 кБ внутренней памяти программ. Данные микроконтроллеры работают на частотах от 0 до 40 МГц.

В настоящее время семейство микроконтроллеров MCS-51 включает в себя десять подсемейств, которые имеют одинаковую структуру и общую систему команд. Микроконтроллеры семейств 51 и 52 изготавливаются по высококачественной n-МОП технологии, а остальные по комплементарной КМОП-технологии.

Контроллеры PIC – это микроконтроллеры, изготавливаемые американской компанией MicrochipTechnologyInc. Аббревиатура PIC, расшифровывается как Peripheral Interface Controller - периферийный интерфейсный контроллер.

Данные микроконтроллеры имеют широкую номенклатуру изделий и применяются в разнообразных сферах.

Так как они выполнены на основе использования Гарвардской архитектуры, а не на традиционной фон Неймановской, то им характерна высокая скорость выполнения команд. Гарвардской архитектуре характерно разделение между памятью программ и памятью данных, каждая из которых имеет шины доступа к ним.

В основу PIC-контроллеров положена RISC-архитектура, архитектура с

сокращенным набором команд. Для данной архитектуры характерны следующие принципы:

- обработка данных в формате «регистр-регистр»;
- результаты формируются со скоростью одно слово за такт;
- система команд содержит минимальное число инструкций одинаковой длины.

В настоящее время компания Microchip выпускает пять основных семейств восьмиразрядных RISC-микроконтроллеров, большинство из них с однократно программируемой памятью программ.

Архитектура ARM (Advanced RISC Machine) – семейство 32-битных и 64-битных микропроцессорных ядер, изготавливаемых компанией ARM Limited. Эта архитектура популярна для мобильных и других устройств. Контроллеры ARM-архитектуры построены на RISC-архитектуре с оптимизированной системой команд. Это позволило создавать процессорные ядра с малым числом транзисторов, что оказывает влияние на низкую стоимость и малое энергопотребление [9].

В виду того, что процессоры ARM постоянно развиваются, так как компания занимается только разработкой ядер и инструментов для них, имеется множество различных версий данной архитектуры. Наиболее распространенными являются семейства ARM7, ARM9, ARM11, Cortex.

Контроллер семейства ARM включает в себя такие модули как:

- интерфейс камеры;
- два USB OTG;
- отдельный аудио PLL;
- до 15 коммуникационных интерфейсов: шесть USART, три SPI, три I2C, до двух CAN и интерфейс SDIO;
- два 12-битных аналого-цифровых преобразователя (АЦП);
- три 12-битных цифро-аналоговых преобразователя (ЦАП);
- до семнадцати 16 и 32-битных таймеров;
- шина подключения внешних RAM, ROM;

-контроллер DMA используя его можно легко пересылать блоки данных между периферией и памятью без использования процессора.

Для программирования данного микроконтроллера, который имеет встроенный USB bootloader, достаточно скопировать файл прошивки на контроллер, как на USB-накопитель.

В последнее время широкое распространение получили одноплатные компьютеры RaspberryPi и микроконтроллеры семейства Arduino.

Микроконтроллеры могут одновременно исполнять всего одну задачу и отлично с этим справляются. А одноплатные компьютеры исполняют программы в рамках операционной системы (чаще всего Linux), обладают большей производительностью и широкими мультимедийными возможностями.

Существуют также гибридные платформы, где на одной плате расположен и микроконтроллер, и процессор. Идея в том, чтобы оставить мощному процессору сложные задачи: выход в сеть, обработку медиа, а на микроконтроллер возложить функцию точного управления приводами, реле, сенсорами и другой периферией. Вы можете создать гибриды и сами, если возьмете по одной плате из каждого семейства. У всех них найдутся общие интерфейсы, через которые можно организовать их взаимодействие.

Рассмотрим более подробно микроконтроллер ArduinoUno. Процессор на 16 МГц, 32 КБайт постоянной и 2 КБайт оперативной памяти, двадцать портов ввода–вывода, шесть аналоговых входов, шесть каналов ШИМ, два аппаратных прерывания, что позволяет решать практически любые задачи по точному управлению множеством сенсоров и исполнительных устройств.

Плюсами данной платы является:

– большое количество документации, уроков и готовых библиотек, огромное сообщество, работа из простой в освоении среды Arduino IDE с языками ArduinoC/C++. Все это предоставляет большое пространство для творчества и реализации собственных идей;

– родное напряжение в 5 В, которое является де-факто стандартом и колодки для установки плат расширения, аналоговые входы, всевозможные аппаратные интерфейсы позволяют подключить практически любую периферию, сенсоры и исполнительные устройства.

Рассмотрим подробно ArduinoDue, представленную на рисунке 3.4.

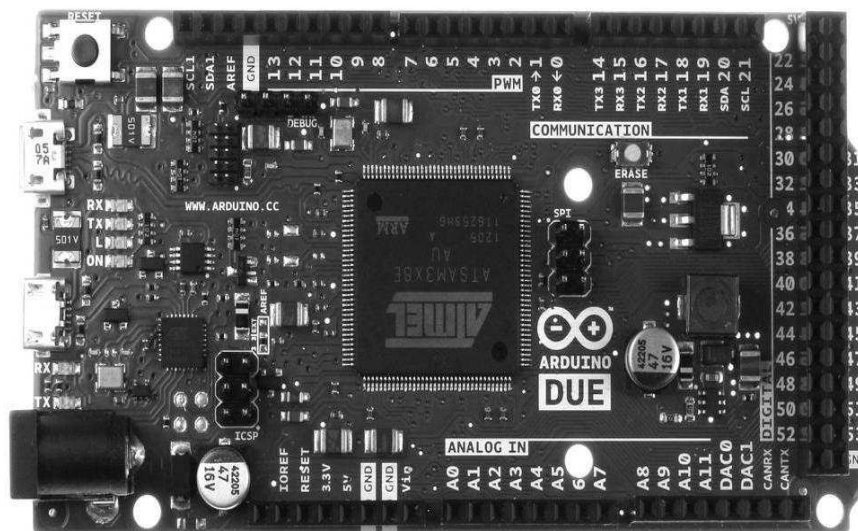


Рисунок 3.4 – ArduinoDue

Как ArduinoUno, но на базе более мощного микроконтроллера той же архитектуры. В основном применяется в тех случаях, где ArduinoUno перестала справляться.

Плюсами данной платы является:

– процессор на 84 МГц и 512 КБайт памяти. 66 портов ввода–вывода, из которых 12 могут быть аналоговыми входами, 12 поддерживают ШИМ и все 66 могут быть настроены, как аппаратные прерывания;

– встроенный контроллер шины CAN позволяет создавать сеть из Due или взаимодействовать с автомобильной электроникой. Два канала ЦАП позволяют синтезировать стереозвук с разрешением в 4,88 Гц.

Однако, имеется недостаток в виде родного напряжения в размере 3,3 В вместо традиционных 5 В. Необходимо следить, чтобы выбираемая периферия



поддерживала работу с этим уровнем или ставить преобразователи уровней напряжения.

Рассмотрим подробно ArduinoLeonardo, представленную на рисунке 3.5.

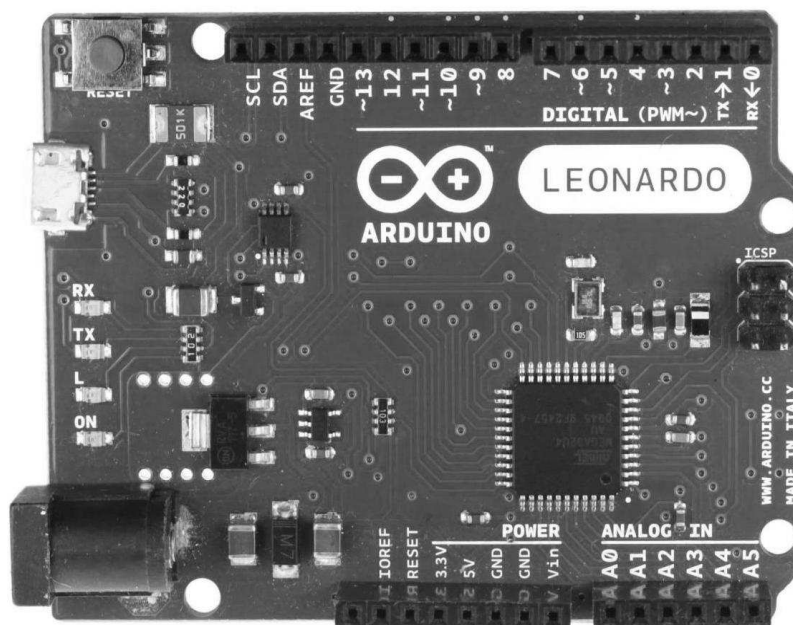


Рисунок 3.5 – ArduinoLeonardo

На самом деле это та же ArduinoUno, но с другим микроконтроллером, который находится в том же классе, но имеет некоторые отличия положительного характера:

- большее количество аналоговых входов (двенадцать против шести) для сенсоров, больше каналов ШИМ (семь против шести), больше выводов с аппаратным прерыванием (пять против двух), отдельные независимые serial-интерфейсы для USB и UART;

- ArduinoLeonardo может притворяться клавиатурой или мышью (HID-устройством) для компьютера. Это позволяет легко сделать свое собственное устройство ввода.

Однако существует и минус в виде расположения выводов чуть отличной от ArduinoUno, что может способствовать несовместимости с некоторыми платами расширения.

На основании вышеперечисленного свой выбор мы сделали в пользу ОВЕН ПЛК, так как с ней не возникает проблем совместимости с другими платами расширения, а ее технических характеристик более чем хватает для выполнения поставленной задачи.

В результате обзора выбран модуль ввода MB110-8A.

-8 универсальных каналов аналогового ввода

-типы входных сигналов: термопреобразователи сопротивления, термопары, унифицированные сигналы напряжения и тока (требуют использования внешнего резистора 50 Ом), сопротивление до 2 кОм

-частота измерений: до 0,3 сек на канал;

-термопары: L, J, N, K, S, R, B, T, A-1, A-2, A-3

-термопреобразователи сопротивления: 50М, Cu50, 50П, Pt50, Ni100, 100М, Cu100, 100П, Pt100, Ni500, 500М, Cu500, 500П, Pt500, Ni1000, 1000М, Cu1000, 1000П, Pt1000

-унифицированные сигналы: 4-20 мА, 0-20 мА, 0-5 мА, +/-50мВ, 0-1 В

-напряжение питания: ~220 В и =24 В (универсальный источник питания).



Рисунок 3.6 – Модуль аналогового ввода сигналов MB110-8A

Основные особенности модуля аналогового вывода ОВЕН МУ110-8И.

Прибор предназначен для преобразования цифровых сигналов, передаваемых по сети RS-485, в аналоговые сигналы диапазоном от 4 до 20 мА для управления исполнительными механизмами или для передачи сигналов приборам регистрации и самописцам.

МУ110 работает в сети RS-485 по протоколам ОВЕН, ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON. МУ110 не является Мастером сети, поэтому сеть RS-485 должна иметь Мастер сети, например, ПК с запущенной на нем SCADA-системой, контроллер или регулятор. В качестве мастера сети могут использоваться приборы ОВЕН ТРМ151, ТРМ133, контроллеры ОВЕН ПЛК и т.п. К МУ110 предоставляется бесплатный OPC-драйвер и библиотека стандарта WIN DLL, которые рекомендуется использовать при подключении прибора к SCADA-системам и контроллерам других производителей. Конфигурирование МУ110 осуществляется с помощью ПК через адаптер интерфейса RS-485/RS-232 или RS-485/USB (например, ОВЕН АС3-М или АС4, соответственно) с помощью программы «Конфигуратор М110», входящей в комплект поставки.

Прибор отвечает требованиям по устойчивости к воздействию помех в соответствии с ГОСТ Р 51522 для оборудования класса А.

Основные особенности модуля аналогового вывода ОВЕН МУ110-8И:

-8 каналов аналогового вывода 4-20 мА.

Основные особенности модуля аналогового вывода ОВЕН МУ110-8И:

-8 каналов аналогового вывода 4-20 мА;

-Напряжение питания\*: ~220 В и =24 В (универсальный источник питания).



Рисунок 3.7 – Модуль аналогового вывода сигналов ОВЕН МУ110-8И

Модуль расходомера, внутри которого находятся лопасти, вращающиеся под напором воды. Модуль работает благодаря датчику Холла, выдающему импульс при каждом вращении лопастей. Датчик Холла герметично отделен от воды и лопастей, так что не стоит опасаться протечек.

Датчик имеет три провода: красный (от 5 до 24 В DC питание), черный (земля) и желтый (управляющий выход от датчика Холла). Путем подсчета импульсов от выходного сигнала датчика, можно легко рассчитать расход воды. Каждый импульс составляет около 2,25 мл.

Характеристики YF-S201:

- рабочее напряжение: от 5 до 18 В DC;
- максимальный ток: 15 мА;
- тип выхода: 5V TTL;
- диапазон работы датчика: от 1 до 30 л/мин;
- диапазон рабочих температур: от минус 25 до плюс 80 °С;
- точность: до 10 %;
- максимальное давление воды: 2,0 Мпа;
- выходной рабочий цикл: от 50 до 10 %;
- импульсы на литр: 450;
- долговечность: минимум 300000 циклов;
- длина кабеля: 15 см;
- сопротивление изоляции  $\geq 100$  МОм.

В соответствии с рекомендациями производителя для повышения точности измерения расхода воды подключим резистор на 9,1 кОм на сигнальный выход.

На рисунке 3.8 изображена схема подключения модуля расходомера к МК.

И наконец, необходимо выбрать микросхему Wi-fi модуля. Свой выбор мы остановили на ESP8266. У данного модуля несколько версий в нашем случае мы будем работать с первой версией ESP8266-01.

Основные технические характеристики данного модуля:

- WI-FI: 802.11 b/g/n с WEP, WPA, WPA2;
- режимы работы: клиент (STA), точка доступа (AP), клиент+точка доступа (STA+AP);
- напряжение питания от 1,7 до 3,6 В;
- потребляемый ток: до 215 мА в зависимости от режима работы;
- количество GPIO: 2;
- Flash память размером 512 КБайт;
- RAM данных 80 КБайт;
- RAM инструкций – 32 КБайт.

На рисунке будет представлено назначение выводов модуля. Приведем также назначение каждого из выводов модуля ESP8266-01:

- VCC – питание модуля от 3 до 3,6 В;
- GND – земля;
- RST – вывод Reset отвечающий за перезагрузку модуля;
- CH\_PD – «chip-power-down» при подаче питания на него активизируется работа модуля;
- TX – передача данных (UART интерфейс);
- RX – прием данных (UART интерфейс);
- GPIO0 – порт ввода/вывода общего назначения;
- GPIO2 – порт ввода/вывода общего назначения.

Выводы GPIO0 и GPIO2 – это точно такие же цифровые выводы, с которыми мы работаем на платах Arduino для взаимосвязи с различными датчиками, и применяются они в случае реализации самостоятельной работы на внутреннем микроконтроллере Wi-Fi модуля ESP8266-01.

Назначение выводов ESP8266-01 представлено на рисунке 3.8.

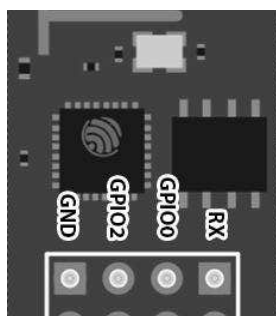


Рисунок 3.8 – Назначение выводов ESP8266-01

ESP8266 может работать как в роли точки доступа, так и конечной станции. При нормальной работе в локальной сети ESP8266 конфигурируется в режим конечной станции. Для этого устройству необходимо задать SSID Wi-Fi сети и, в закрытых сетях, пароль доступа. Для первоначального конфигурирования этих параметров удобен режим точки доступа. В режиме точки доступа устройство видно при стандартном поиске сетей в планшетах и компьютерах. Остается подключиться к устройству, открыть HTML страничку конфигурирования и задать сетевые параметры. После чего устройство штатно подключится к локальной сети в режиме конечной станции.

В случае исключительно местного использования возможно всегда оставлять устройство в режиме точки доступа, что снижает необходимые усилия пользователя по его настройке.

После подключения к Wi-Fi сети устройство должно получить параметры локальной сети. Эти параметры можно задать вручную вместе с параметрами Wi-Fi либо активизировать какие-либо сервисы автоматического конфигурирования IP-параметров (например, DHCP).

После настройки IP параметров обращение к серверу устройства в локальной сети обычно осуществляется по его IP адресу, сетевому имени (в случае, если имена поддерживаны какой либо технологией, например NBNS) или сервису (в случае если поддерживан автоматический поиск сервисов, например через протокол SSDP).

Зачастую доступ к устройству требуется из Интернета. Например, пользователь с мобильного телефона удаленно проверяет состояние своего «умного дома», обращаясь напрямую к устройству. В этом случае устройство работает в режиме сервера, к которому обращается внешний клиент.

Как правило, устройство на основе ESP8266 находится в локальной сети офиса или дома. Выход в Интернет обеспечивает роутер, подключенный с одной стороны к локальной сети, а с другой к сети провайдера интернета. Провайдер назначает роутеру свой статический или динамический IP адрес, и роутер осуществляет трансляцию адресов локальной сети в сеть провайдера. Так как сигналы Arduino имеет уровень 5 В, а сигналы ESP уровень 3,3 В необходимо использовать резистивный делитель напряжения. Резистивный делитель напряжения представляет собой два резистора, включенных последовательно друг другу и параллельно источнику питания. Его расчет будем вести по формуле (3.1):

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} * \frac{R_2}{(R_1+R_2)} \quad (3.1)$$

где  $U_{\text{ВЫХ}}$  – напряжение на выходе, измеряется в Вольтах;

$U_{\text{ВХ}}$  – напряжение на входе, измеряется в Вольтах;

$R_1$  и  $R_2$  – сопротивление резисторов делителя, измеряется в Омах;

Возьмем  $R_2=2$  кОм и  $R_1=1$  кОм. Подставив в формулу (3.1) получим:

$$U_{\text{ВЫХ}} = 5 * \frac{2000}{(1000 + 2000)} = 3,33 \text{ В}$$

Получаем необходимое напряжение.

Также может быть выбран вихревой расходомер Rosemount 8800D.

Технические характеристики вихревого расходомера Rosemount 8800D представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Технические характеристики расходомера Rosemount 8800D

Рабочая среда	Жидкость, газ или пар
Выходные сигналы, мА	4/20 мА
Сортаменты трубопроводов	15-300 мм
Диапазон давления	150-1500 ASME
Типовые диапазоны расхода	От 0,9 до 34,6 м/с (для газа)
Диапазон температур измеряемой среды, °С	Стандартное исполнение: от -40°С до 232°С (от -40 до 450 °F);
Диапазон температур окружающей среды:	Эксплуатация: от -50°С до 85 °С (от -58 до 185 °F);
Погрешность, %	Для жидкости ±0,65%; Для пара, газа ±1,00%.



Рисунок 3.9 – расходомер Rosemount 8800D

Датчики давления ЭНИ-100 предназначены для непрерывного преобразования измеряемого давления пара, жидкости и газа в унифицированный токовый выходной сигнал и (или) цифровой сигнал на базе HART-протокола: разности давлений; избыточного давления; давления



разрежения (вакуума); давления избыточного-разрежения; абсолютного давления; гидростатического давления.

Датчики по стойкости к воздействию предназначены для работы с жидкостями, газами и парами, представляющими собой неагрессивные среды и агрессивные среды.

По взрывозащищенному исполнению датчики могут быть: без взрывозащиты (общепром); с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь»; с видом взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка».

Пределы допускаемой основной погрешности  $\pm 0,1\%$ ,  $\pm 0,15\%$ ,  $\pm 0,25\%$ ,  $\pm 0,5\%$ .

Диапазон температур окружающего воздуха от  $-40$  до  $+80$  °С.

Датчики используются для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами в различных областях промышленности. Датчики взрывозащищенного исполнения Вн и Ех предназначены для использования во взрывоопасных зонах в соответствии с установленной маркировкой взрывозащиты.

Датчик состоит из измерительного блока (преобразователя давления) и электронного преобразователя. Измерительным элементом является пластина из монокристаллического сапфира с кремниевыми пленочными тензорезисторами (структура КНС). Измеряемая входная величина подается в камеру приемника давления и преобразуется в деформацию чувствительного элемента, вызывая при этом изменение электрического сопротивления его тензорезисторов. Электронный преобразователь датчика преобразует это изменение сопротивления в унифицированный токовый выходной сигнал и цифровой сигнал на базе HART-протокола.

Датчики с HART-протоколом могут передавать информацию об измеряемой величине в цифровом виде по двухпроводной линии связи вместе с аналоговым сигналом 4-20 мА.

Характеристики выходного аналогового сигнала:

- линейно-возрастающая;
- линейно-убывающая;
- корнеизвлекающая.

Выпускаются по ТУ 4212-010-59541470-2012.



Рисунок 3.10 – Датчик давления ЭНИ-100-ДА

Термопреобразователи ТХАУ Метран-271-Ех могут применяться во взрывоопасных зонах, в которых возможно образование взрывоопасных смесей газов, паров, горючий жидкостей с воздухом категорий ПА, ПВ, ПС, групп Е1-Е6 по ГОСТ Р 51330.11-99.

Предназначены для измерения температуры нейтральных и агрессивных сред, по отношению к которым материал защитной арматуры является коррозиостойким. Чувствительный элемент первичного преобразователя и встроенный в головку датчика измерительный преобразователь преобразуют измеряемую температуру в унифицированный выходной сигнал постоянного тока, что даёт возможность построения АСУТП без применения дополнительных нормирующих преобразователей.

Технические характеристики:

- выходной сигнал 4-20 мА;
- простота и надёжность;

-первичные преобразователи:

1) 100М, 50М с возможностью измерения температуры до 180 °С;

2) Pt100, 100П с возможностью измерения температуры до 500 °С;

3) ТХА(К) с возможностью измерения температуры до 1000 °С.

-жаропрочные и коррозионностойкие защитные арматуры;

-взрывозащищённое исполнение Exd или Exi;

-напряжение питания:

1) от 18 до 42В постоянного тока – для термопреобразователей с выходным сигналом 4-20 мА;

2) 36В постоянного тока – для термопреобразователей с выходным сигналом 0-5 мА.

-Допускаемое отклонение напряжения питания – не более  $\pm 2\%$ .

-Степень защиты термопреобразователя от воздействия пыли и воды IP65 по ГОСТ 14254;

3) Виброустойчивость - группа исполнения V1 по ГОСТ 12997.

-потребляемая мощность;

-не более 0,9 Вт - для термопреобразователей обыкновенного исполнения;

-не более 0,5 Вт - для термопреобразователей взрывозащищенного исполнения.



Рисунок 3.11 – Датчик температуры ТХАУ Метран-271-Ex

Клапаны, регулирующие клеточные, являются стационарными элементами систем автоматического управления технологическими процессами и предназначены для регулирования расхода потока рабочей среды в системах автоматического управления технологическими процессами.

Рабочая среда: жидкости, пары и газы, не агрессивные по отношению к материалам деталей клапана, непосредственно соприкасающихся с ними.

Клапаны, регулирующие клеточные с проходным корпусом, разгруженные, с фланцевым соединением с трубопроводом, с пневматическим (ПМ) или электрическим (ЭМ) исполнительным механизмом (приводом). Вид действия клапанов с пневматическим приводом: нормально – открытый (НО) или нормально – закрытый (НЗ).

Таблица 3.4 – Технические характеристики ПОУ 32Р

Температура рабочей среды	-40...400 <sup>0</sup> С
Условный проход	DN25...DN200
Условное давление	PN 16 ...PN 100
Условная пропускная способность	6,3...630 м <sup>3</sup> /ч
Температура эксплуатации	0...50 <sup>0</sup> С
Рабочая среда	Агрессивные, газообразные среды и нефтепродукты



Рисунок 3.12 – Клапан регулирующий клеточный ПОУ 32Р

В результате проведенного обзора выбран микроимпульсный уровнемер Levelflex FMP54. Levelflex FMP54 предназначен для непрерывного измерения уровня жидкостей в экстремальных условиях. Рабочее соединение с керамико-графитовым уплотнением обеспечивает применение при высокой температуре и давлении в паровых котлах и токсичных средах. Газонепроницаемое уплотнение является дополнительным условием безопасности.

Описание:

-Присоединение к процессу: резьба

-Температура: -196 ... +450°C

-Давление: -1 ... +400 бар

-Максимальный диапазон измерения: стержневой зонд - 10 м, тросовый зонд - 45 м, коаксиальный зонд - 6 м

-Погрешность:  $\pm 2$  мм

-Международные сертификаты на применения во взрывоопасных зонах, калибровочный протокол по 5 точкам, защита от перелива WHG, разрешение на использование в паровых котлах, функциональная безопасность SIL.



Рисунок 3.13 – Микроимпульсный уровнемер Levelflex FMP54

Клапан регулирующий МЕТАРОССА Segment применяется в составе регулирующего или запорно-регулирующего устройства для различных сред и при температуре до +550 °С

Управление: электрическое, пневматическое. Направление рабочей среды и установочное положение – любое.

Общая информация:

Клапан сегментный регулирующий с шаровым сегментом используется в системах, требующих максимально точной регулировки потока рабочей среды в составе различных промышленных систем для регулирования и перекрытия потоков газа, пара или жидкости, проходящих по трубопроводам и обеспечивает необходимый уровень герметичности, соответствующий ГОСТу. Регулирующие сегментные клапаны с шаровым сегментом нашли применение в самых разнообразных областях: в системах тепло- и водоснабжения, газо- и нефтепроводах.



Рисунок 3.14 – Клапан регулирующий МЕТАРОССА Segment

Преобразователь серии НС1-С – это компактная универсальная модель, предназначенная для работы в технологическом (насосы и вентиляторы, транспортирующие механизмы, экструдеры, миксеры и т.п.) и

энергосберегающем оборудовании (станции управления насосами, системы климата и кондиционирования и т.п.).

### Характеристики TECORP HC1-C

Частотный способ управления с широкими возможностями задания зависимости  $U_{\text{вых}} = f(f_{\text{вых}})$ . Синусоидальная форма тока двигателя достигается широтно-импульсной модуляцией напряжения с несущей частотой 16кГц (выбирается пользователем).

Диапазон регулировки выходной частоты – 0,1...400 Гц. Точность установки выходной частоты:

- по цифровым входам 0,01%;
- по аналоговым входам 0,1%.

Диапазон напряжения питания:

- для модели 220В - 180...250В;
- для модели 380В - 340...460В.

Пусковой момент – 150% номинального момента при  $f_{\text{вых}} = 1$  Гц.

Перегрузочная способность – 150% номинального момента в течение 60 сек. Встроенный PID-регулятор для эффективной работы привода в замкнутой системе автоматического регулирования, например, по давлению или расходу в системах тепло-водоснабжения.



Рисунок 3.15 – Частотный преобразователь TECORP HC1-C

Преобразователи электропневматические типа ЭП-3324 предназначены для преобразования унифицированного непрерывного сигнала постоянного тока в унифицированный пропорциональный пневматический непрерывный сигнал. Основные технические характеристики ЭП-3324 представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Характеристика ЭП-3324

Входной сигнал,мА	4-20 мА
Погрешность измерений, %	1,0%
Температура окр. среды, ° С	от +50 ° С до +60° С
Относительная влажность, %	до 95%
Масса,кг	Не более 1 кг
Выходной пневматический аналоговый сигнал,кПА	от 20 кПа до 100 кПа.
Номинальное давление воздуха питания,кРА	140 кРА



Рисунок 3.16 – Электропневмопреобразователь-3324

Данные средства подойдут для проекта автоматизации сжигания акролеиновых отходов.

Произведем выбор среды моделирования.



Разработка математических моделей реальных объектов сталкивается с необходимостью учета динамического характера их развития, многих обратных связей, нелинейностью.

В процессе аналитического решения часто невозможно получения однозначного решения благодаря недостатку соответствующих уравнений или наличию рекурсивности формул. В то же время, во многих ситуациях достаточно предоставления численного решения и визуального представления результатов на базе проведения серии численных экспериментов.

Таким требованиям соответствует метод имитационного моделирования.

С помощью имитационного моделирования возможно решение различных задач - от исследования поведения систем к поиску оптимального решения. Эксперты отрасли утверждают, что не имеет проблемы, которую нельзя было бы решить с помощью имитационного моделирования.

Развитие этого математического направления диктует проведение новых исследований по совершенствованию средств постановки и реализации моделей и планирования имитационных экспериментов.

Сегодня процесс моделирования значительно облегчается за счет систем моделирования, которые предоставляют пользователям мощный математический инструментарий и удобный интерфейс. Программное обеспечение имитационного моделирования условно классифицируется специалистами по четырём группам:

- 1 Интегрированные программные среды и отдельные универсальные языки программирования высокого уровня (Pascal, Basic, C, C ++ и др.). В ходе их использования строится алгоритмическая модель, а затем алгоритм кодируется средствами стандартного синтаксиса выбранного языка программирования.

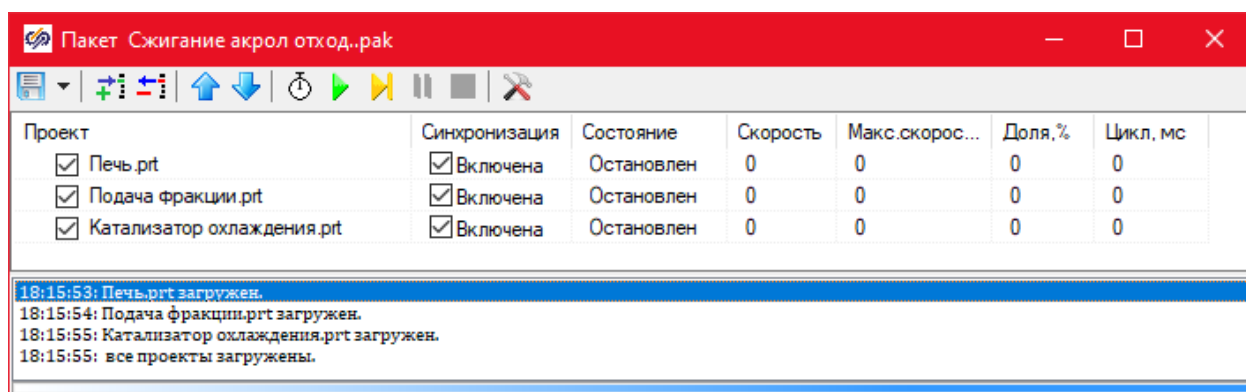
- 2 Специализированные языки моделирования (GPSS, SIMULA, SIMSCRIPT, CSL, SOL, GASP, SLAM и др.), основанные на универсальных языках программирования. В рамках таких программных сред реализованы

способы взаимодействия и динамика систем через соотношение составляющих элементов во времени и пространстве.

В ходе построения модели используются термины и концепции конкретного специального языка. Программное обеспечение, как правило, компактное и имеет сегодня значительные прикладные приложения, характеристики поведения многих активных систем.

### 3.2 Моделирование и анализ полученных результатов

Модель автоматизации представляет из себя пакет, состоящий из 3х проектов (рисунок 3.17), управляемых через окно анимации (панель управления оператора).



Проект	Синхронизация	Состояние	Скорость	Макс.скорос...	Доля, %	Цикл, мс
<input checked="" type="checkbox"/> Печь.prt	<input checked="" type="checkbox"/> Включена	Остановлен	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> Подача фракции.prt	<input checked="" type="checkbox"/> Включена	Остановлен	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> Катализатор охлаждения.prt	<input checked="" type="checkbox"/> Включена	Остановлен	0	0	0	0

18:15:53: Печь.prt загружен.  
18:15:54: Подача фракции.prt загружен.  
18:15:55: Катализатор охлаждения.prt загружен.  
18:15:55: все проекты загружены.

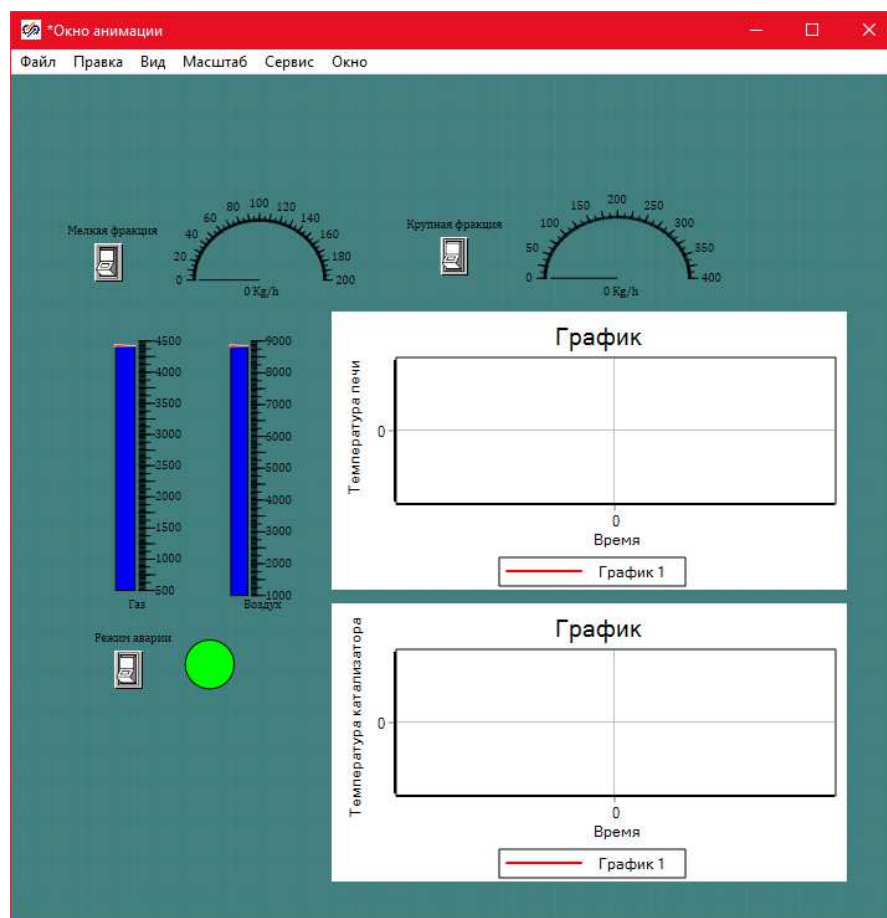
Рисунок. 3.17 - Пакет «Сжигание акрол отход.»

Взаимодействие между проектами осуществляется посредством единой базы сигналов (рисунок 3.18) через синхронизацию каждого проекта.

№	Имя	Название	Тип данных	Режим	Формула	Значение	Способ расчёта
1	MF	Сигнал подачи мелкой фракции	Веществен...	Вход		0	Переменная
2	KF	Сигнал подачи крупной фракции	Веществен...	Вход		0	Переменная
3	MR	Поток мелкой фракции	Целое	Вход		0	Переменная
4	KR	Поток крупной фракции	Целое	Вход		0	Переменная
5	Gaz	Объем поступающего топливного га...	Веществен...	Вход		3286.5597	Переменная
6	VozdIn	Сигнал подачи воздуха	Веществен...	Вход		6573.1195	Переменная
7	VozdOut	Фактический объем воздуха	Веществен...	Вход		1	Переменная
8	Temp	Температура печи	Веществен...	Вход		500.28742	Переменная
9	Sak1	Сигнал аварийной ситуации мелкой	Веществен...	Вход		0	Переменная
10	Sak2	Сигнал аварийной ситауций крпуной	Веществен...	Вход		0	Переменная
11	Spv	Сигнал автоматизированной подачи...	Веществен...	Вход		1	Переменная
12	TempG	Выходная температура газа с катал...	Веществен...	Вход		3.9137182	Переменная

Рисунок 3.18 - База сигналов пакета «Сжигание акрол отход.»

Непосредственное управление всеми проектами происходит с помощью окна анимации (пульты оператора), представленном на рисунке 3.19.



### Рисунок 3.19 – Окно анимации «Пульт оператора»

Кнопки «Мелкая фракция», «Крупная фракция» (рисунок – 3.19) являются сигналами запуска подачи в печь соответственно мелкой и крупной фракции. Так же рядом с кнопками расположены индикаторы расхода фракции в виде стрелочных приборов. Изменяя положение графической шкалы в столбиках газа и воздуха мы можем регулировать их подачу. Значения газа и воздуха могут колебаться от 500 до 4500 и от 1000 до 9000 м<sup>3</sup>/ч.

В проекте «Подача фракции» (рисунок 3.21) происходит расчет объёма подачи, мелкой и крупной фракции в единицу времени. Запуск проекта идет через базу сигналов с использованием сигнала «MF» - сигнал включения подачи мелкой фракции и «KF» сигнал включения подачи крупной фракции. Имитация подачи фракции производится с помощью инерционного – звена 1-го порядка и интегратора с ограничением, где интегратор с ограничением выступает в роли максимального порогового значения проходной способности труб, а инерционное звено выступает в роли нагнетателя давления в данной трубе по подаче фракции в печь. При нулевом значении входящих сигналов «MF», «KF», происходит остановка подачи с помощью элементов «константа» и «сравнивающее устройство», которые обеспечивают имитацию плавного уменьшения потока при закрытии задвижки.

Программный код «окна анимации» представлен на рисунке 3.20.

При запуске программы данный код задает нулевые значения для кнопок включения подачи крупной и мелкой фракции что бы избежать случайного включения соответствующих заслонок. Так же к нулевым значениям приводятся сигналы, регулирующие подачу газа и воздуха, так же сигнал, отвечающий за индикацию текущей температуры внутри печи «Temp»

```
Скрипт анимации: *Окно анимации
Файл  Правка  Поиск  Расчёт  Справка
[Icons]
[Icons]
1 initialization
- Gaz = 0;
- VozdIn = 0;
- Temp = 0;
- Button.Value = 0;
- Button1.Value = 0;
- end;
8
- MF = Button.Value;
10 - KF = Button1.Value;
-
- voltmeter.value = MR;
- voltmeter1.value = KR;
-
- TextLabel2.Text =MR + " Kg/h ";
- TextLabel3.Text = KR + " Kg/h ";
-
- Gaz=VozdIn/2;
- VozdIn=Bar1.Value;
20
T=Time;
If Temp > 510 then FillCircle.color=255
If Temp < 510 then FillCircle.color=65280
< >
8: 1  Изменено
```

Рисунок 3.20 – Программный код «окна анимации»

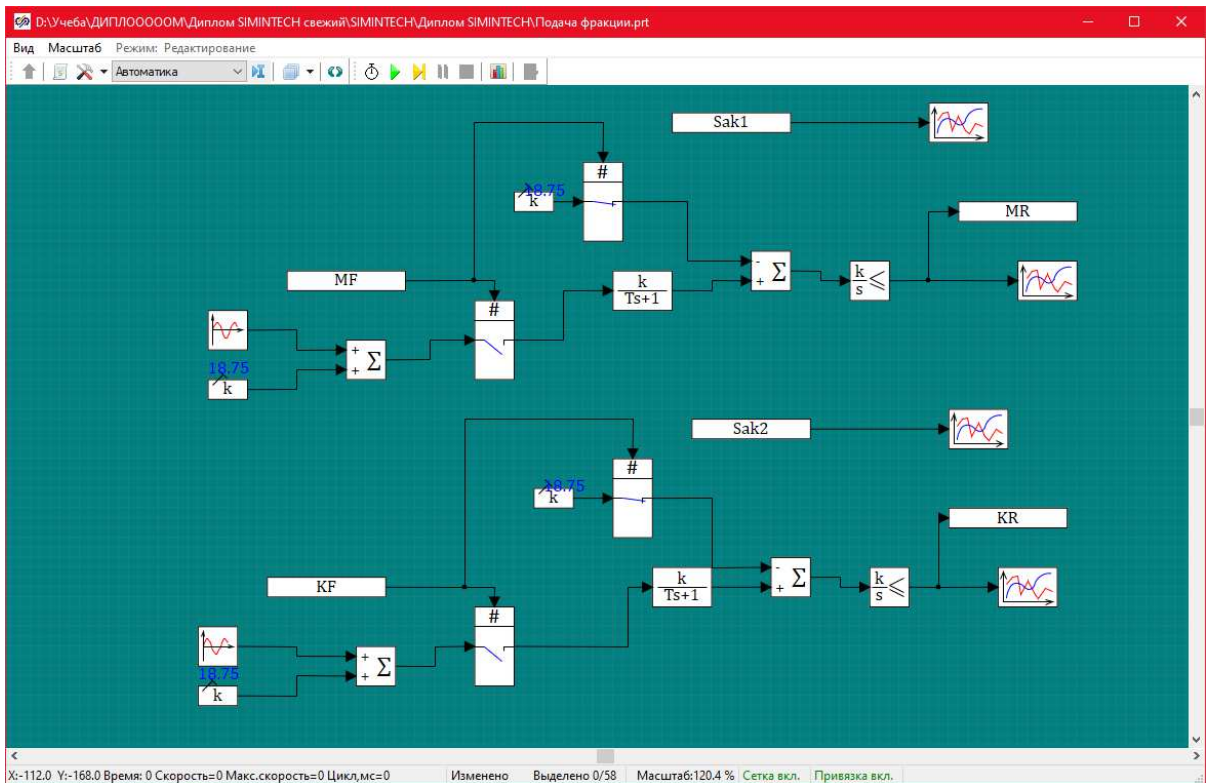
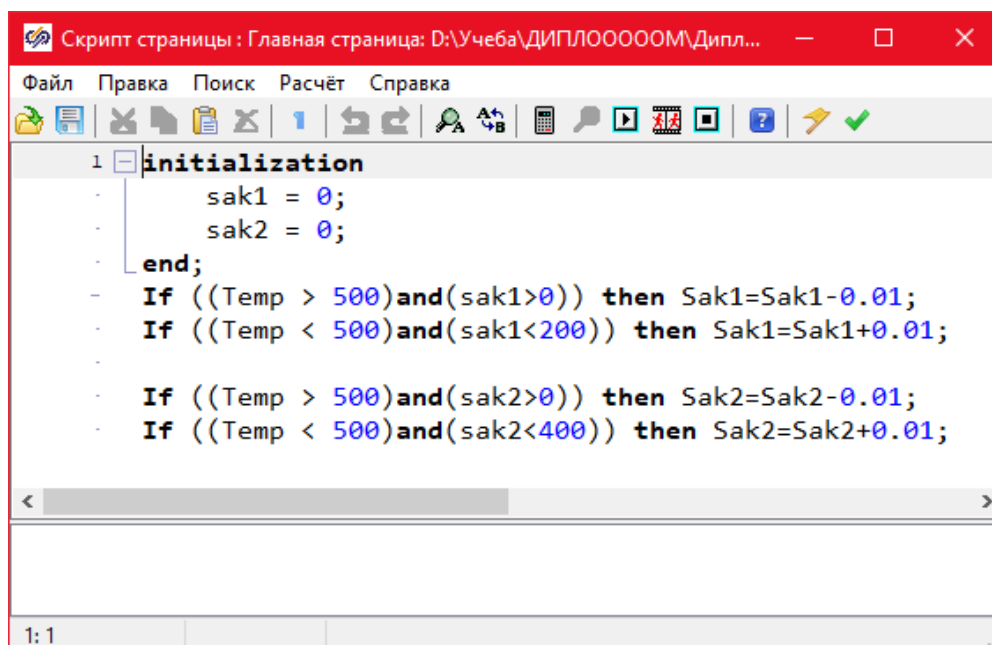


Рисунок 3.21 – Окно проекта «Поддача фракции»

Скрипт управления задвижками, отвечающими за объём подачи мелкой и крупной фракции, представлен на рисунке 3.22. Значение переменных «Sak1» и «Sak2» отражает степень открытия задвижек и зависит от температуры внутри печи.



```
1 initialization
-   sak1 = 0;
-   sak2 = 0;
-   end;
-   If ((Temp > 500)and(sak1>0)) then Sak1=Sak1-0.01;
-   If ((Temp < 500)and(sak1<200)) then Sak1=Sak1+0.01;
-
-   If ((Temp > 500)and(sak2>0)) then Sak2=Sak2-0.01;
-   If ((Temp < 500)and(sak2<400)) then Sak2=Sak2+0.01;
```

Рисунок 3.22 – Скрипт проекта «Подача фракции»

Выходные сигналы «MR» и «KR» обеспечивают мониторинг в реальном времени объёма фракции проходящего в трубе в единицу времени и соединены со стрелочными приборами в окне анимации «Пульт оператора»

Проект «Утилизатор охлаждения» изображенный на рисунке 3.23, регулирует подачу воды на контур охлаждения. Регулирование производится путем изменения степеней открытия задвижки (на схеме изображена в виде интегратора с ограничением) с помощью сигнала «Sprv».

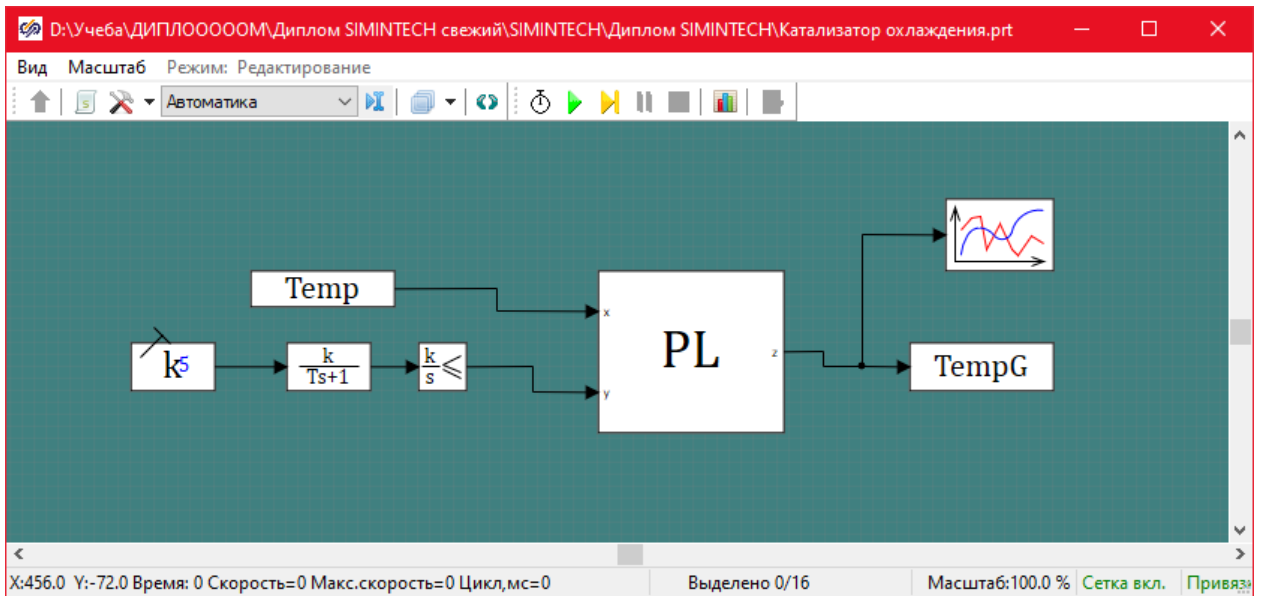


Рисунок 3.23 – Проект «Утилизатор охлаждения»

Температура выходящих газов должна колебаться в районе 200 градусов цельсия. Скрипт регулирования температуры по средствам открытия и закрытия задвижки подачи воды представлен на рисунке 3.24.

```

Скрипт страницы : Главная страница: D:\Учеба\ДИПЛОООООМ\Дипл...
Файл  Правка  Поиск  Расчёт  Справка
initialization
-   TempG = 200;
-   Spv = 0;
-   end;
-   If ((TempG > 200) and (Spv < 300)) then Spv = Spv +1
-   If ((TempG < 200) and (Spv > 1)) then Spv = Spv -1
1: 1      Изменено

```

Рисунок 3.24 – Скрипт проекта «Катализатор охлаждения»

Выходным параметрам данной схемы, является сигнал «TempG» который представляет собой температуры выходящих газов и отображается на пульте оператора в виде графика.

Данный проект (рисунок 3.25), является моделью печи, в которую будут поступать реагирующие вещества. Входными параметрами для расчёта температуры печи являются удельный объём газа и воздуха подаваемый внутрь, а также тип поступающей фракции и ее объём.

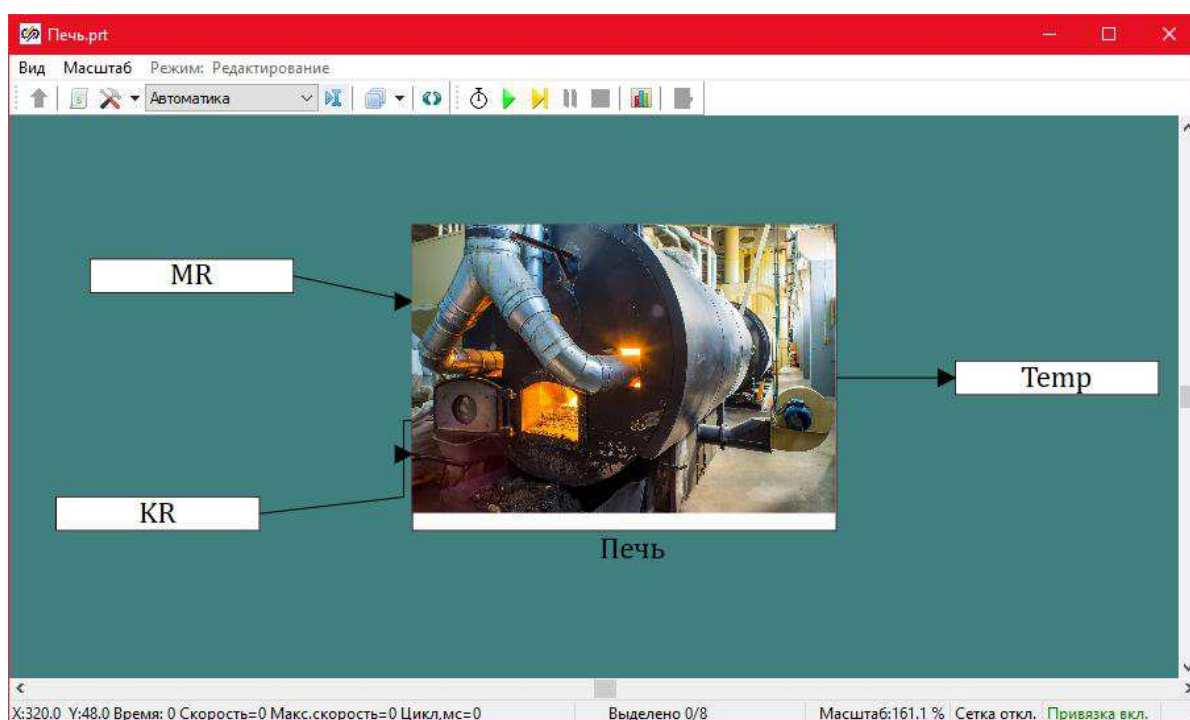


Рисунок 3.25 – Проект «Печь»



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в настоящее время сжигание отходов применяется в различных отраслях промышленности, поскольку любой технологический процесс основывается на определении массы исходного вещества, контроле и регулировании производительности, обеспечении заданного расхода материала.

В данной работе разработана и исследована система автоматического управления сжигания акролеиновых отходов. Проведен обзор и анализ научно-технической литературы. Разработана математическая модель объекта управления – печи.

Рассчитаны настроечные коэффициенты регулятора, а также реализовано моделирование системы управления печи сжигания отходов.

За счет оснащения всей системы управления современным средствами автоматизации была выполнена основная задача управления технологическим процессом сжигания акролеиновых отходов.

При написании работы были выполнены следующие задачи:

- 1 Выполнен анализ существующих методов сжигания акролеиновых отходов;
- 2 Исследована разработка математической модели процесса сжигания;
- 3 Выполнено проектирование системы управления в среде SimInTech.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Кулаков, М.В. Технические измерения и приборы для химических производств / М.В. Кулаков. – Москва: Машиностроение, 1983. - 424с.

2 Пат. 2106575 Российская Федерация, 28.01. Установка для сжигания отходов; заявитель и патентообладатель: Петров Алексей Алексеевич; заявл. 18.07.1995; опубл. 10.03.1998, Бюл. №23 – 4 с.

3 Пат. 2150989 Российская Федерация, МПК В01D 53/44. Способ очистки газовых выбросов от акролеина / В.Н. Аликин, Г.Э. Кузъмьминский С.В. Чернышова; заявитель и патентообладатель: ЗАО «Пермский завод им. С.М.Кирова». - заявл. 05.01.1999; опубл. 20.06.2000, Бюл. №4 – 3 с.

4 Емельянов, А. И. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие по содержанию и оформлению проектов / А.И. Емельянов, О.В. Капник. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 400с.

5 PLC Systems [Электронный ресурс] // Сайт Компания ООО ПЛК системы. – Режим доступа: <http://plcsystems.ru/>

6 Алехин, В.А. Микроконтроллеры PIC: основы программирования и моделирования в интерактивных средах MPLAB IDE, mikroC, TINA, Proteus. Практикум / В.А. Алехин. - Москва.: ГЛТ, 2016. - 248 с.

7 Белов, А.В. Программирование микроконтроллеров для начинающих и не только. Книга + виртуальный диск / А.В. Белов. – Санкт-Петербург: Наука и техника, 2016. - 352 с.

8 Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов/ М.П. Белов, В.Л. Новиков, Л.Н. Рассудов. - Москва.: Издательский центр «Академия», 2012. - 576с.

9 Бич, М. Микроконтроллеры семейства XC166. Вводный курс разработчика / М. Бич. - Москва.: ДМК, 2016. - 200 с.

- 10 Весовое дозирование зернистых материалов / С.В. Першина, А.В. Каталымов, В.Г. Однолько, В.Ф. Першин. - Москва.: -Машиностроение, 2014. - 260 с.
- 11 Водовозов, А.М. Микроконтроллеры для систем автоматизации: учебное пособие / А.М. Водовозов - Вологда: ВоГУ, 2015. - 163 с.
- 12 Водовозов, А.М. Элементы систем автоматизации: учебное пособие / А.М. Водовозов. - Москва: Издательский центр "Академия", 2008. - 219 с.
- 13 Crydom [Электронный ресурс] / Сайт фирмы производителя в США. – Режим доступа: [http:// www.crydom.com](http://www.crydom.com)> фирма «Crydom».
- 14 Бесекерский, В.А. Теории систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – Москва: Наука, 1972. – 768 с.
- 15 Фирма Телесистемы, Современные микроконтроллеры: Архитектура, средство проектирования, примеры применения, ресурсы сети Интернет / под ред. Коршуна И.В. – Москва: Издательство «Аким», 1998. – 272 с.
- 16 Солодовников, В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования: учебное пособие для вузов / В.В. Солодовников. – Москва: Машиностроение, 1985. – 216 с.
- 17 Воронов, А.А. Основы теории автоматического регулирования и управления: учебное пособие для вузов / А.А. Воронов. – Москва: Высшая школа, 1977. – 132 с.
- 18 Полоцкий, Л.М. Автоматизация химических производств / Л.М. Полоцкий, Г.И. Лапшенков. – Москва: Химия, 1982. – 213 с.
- 19 Клаассен, К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике / К.Б. Клаассен. Москва: Постмаркет, 2000. – 352 с.
- 20 Антамошин, А.Н. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / А.Н. Антамошин, О.В. Близнова, А.В. Бобов, А.А. Большаков. – Москва: РиС, 2016. – 160 с.
- 21 СТО 4.2 07 2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2 07 2012; дата введ. 09.01.2014. – Красноярск, 2014. – 60 с.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»


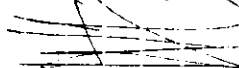
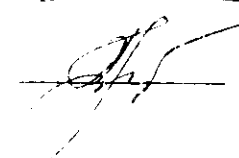
Институт космических и информационных технологий  
Кафедра «Системы автоматики, автоматизированное управление и  
проектирование»

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
С.В. Ченцов  
«18» 06 2021 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СЖИГАНИЯ АКРОЛЕИНОВЫХ  
ОТХОДОВ**

Руководитель		<u>16.06.2021</u> г.	старший преподаватель И.В. Солопко
Выпускник		<u>16.06.2021</u> г.	Р.И. Байрамов
Нормоконтролер		<u>16.06.2021</u> г.	Т.А. Грудинова

Красноярск 2021