**ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГООБРАЗОВАНИЯ (АССОЦИАЦИЯ)**

**«КИСЛОВОДСКИЙ ГУМАНИТАРНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

Факультет Инженерный

Кафедра Систем автоматического управления

Направление Управление в технических системах

К защите допустить:

Зав. кафедрой д.т.н., проф. Гайдук А.Р.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2017 г.

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

к выпускной квалификационной работе

На тему:

**«СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СУШИЛКОЙ ПУЛЬПЫ»**

Руководитель работы: д.т.н., проф. Гайдук А.Р.

(должность, ученая степень и звание)

Консультанты:

по экономическому разделу к.э.н. Курданов М.Д.

по разделу безопасности и экологичности Сербулова Т.Н.

Студент: Хашукоев Беслан Анзорович, гр.241

(фамилия, имя, отчество, группа)

Кисловодск 2017

**ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГООБРАЗОВАНИЯ (АССОЦИАЦИЯ)**

**«КИСЛОВОДСКИЙ ГУМАНИТАРНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

Факультет Инженерный

Кафедра Систем автоматического управления

Направление Управление в технических системах

**ЗАДАНИЕ**

на выпускную квалификационную работу

|  |
| --- |
| **Хашукоеву Беслану Анзоровичу** |

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Тема проекта: | «Система управления сушилкой пульпы» |

утверждена приказом по вузу №9 от 15.01.2017 г.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 2. Срок сдачи студентом законченного проекта | | 25.06.2017 г. |
| 3. Исходные данные к проекту | Синтезировать систему управления | |
| сушилкой пульпы, которая обеспечивает устойчивость, длительность переходного процесса не более 10 с, без перерегулирования, астатизм первого порядка. Модель сушилки построить позаданным кривым разгона.  3.1. Устройство управления реализовать на основе микроконтроллера ипромышленных датчиков. Предусмотреть опрос датчиков и предварительную обработку данных. | | |

4. Содержание пояснительной записки

|  |
| --- |
| 1. Роль сахарного производства в жизни людей. |
| 2. Разработка математической модели сушилки в переменных состояниях. |
| 3. Синтез устройства управления. |
| 4. Реализация устройства управления. Выбор элементов. |
| 5. Безопасность и экологичность системы. |
| 6. Технико-экономическое обоснование системы. |
| 7. Заключение. |
| 8. Список использованных источников. |

5. Перечень графического материала (с точным указанием обязательных демонстрационных материалов)

|  |
| --- |
| 1. Постановка задачи управления ……………………………………..(1 слайд). |
| 2. Математическая модель сушилки…………………………………(1слайд). |
| 3. Синтез системы управления сушилки…………………………….(1 слайд). |
| 4. Результаты моделирование переходных процессов ………………(1 слайд)  5. Реализация устройства управления………………………………….(1 слайд). |
| 5. Безопасность и экологичность системы…………………………..(1 слайд). |
| 6. Технико-экономическое обоснование системы……………………(1 слайд). |

6. Консультации по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов)

Технико-экономическое обоснование /Курданов М.Д./

Безопасность и экологичность /Сербулова Т.Н./

|  |  |
| --- | --- |
| 7. Дата выдачи задания | 15 декабря 2016 г. |

|  |  |
| --- | --- |
| **Руководитель** | /Гайдук А.Р./ |

(подпись)

|  |  |
| --- | --- |
| Задание принял к исполнению (дата) | 15 декабря 2016г. |

|  |  |
| --- | --- |
| Подпись студента | /Хашукоев Б. А./ |

УДК 681.513.1: 621.396.946

«Система управления

сушилкой пульпы»

Выпускная квалификационная работа

Хашукоев Беслан Анзорович

Кисловодск, КГТИ, 2017 г.

**РЕФЕРАТ**

Выпускная квалификационная работа (ВКР) содержит 73 листа,   
16 рисунков, 10таблиц, 10 источников литературы

Ключевые слова: система управления, сушилка пульпы,математическая модель, микроконтроллер, безопасность, экологичность, экономическое обоснование.

Данная выпускная квалификационная работа посвящена разработке системы управления сушилкой сахарной пульпы.

В первом разделе проекта выводиться математическая модель объекта управления на основе заданных разгонных кривых сушилки.

Во втором разделе синтезируется модальное управление стабилизации по заданным характеристикам объекта управления и требованиям к системе управления. Приводятся результаты моделирования расчетных данных замкнутой системы в программе MatLab, и выбирается оптимальный регулятор.

В третьем разделе осуществляется выбор измерительных приборов и реализация системы управления на основе микроконтроллера. Здесь же описывается выбранный микроконтроллер, его режимы адресации и средства отладки.

Четвертый и пятый разделы посвящены вопросам безопасности, экологичности и технико-экономическому обоснованию разработанной системы.

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ…………………………………………………………………………………….6](#_Toc485897238)

[1. БАРАБАННАЯ СУШИЛКА ЗЮДДОЙЧЕ ЦУКЕР АГ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ 8](#_Toc485897239)

[1.1. Описание технологического процесса 8](#_Toc485897240)

[1.2. Математическая модель объекта управления 10](#_Toc485897241)

[1.2.1. Исследование структуры ОУ и его разгонные характеристики 10](#_Toc485897242)

[1.2.2. Определение передаточных функций 13](#_Toc485897243)

[1.2.3. Выбор привода заслонки 17](#_Toc485897244)

[1.2.4. Уравнения сушилки в переменных состояния 20](#_Toc485897245)

[2. АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ 22](#_Toc485897246)

[2.1. Методы первичной обработки сигналов 22](#_Toc485897247)

[2.1.1. Опрос датчиков 22](#_Toc485897248)

[2.1.2. Проверка на достоверность, отклонение от технологических границ и фильтрация 22](#_Toc485897249)

[2.1.3. Сбор и обработка входной информации 24](#_Toc485897250)

[2.2. Алгоритмы управления 26](#_Toc485897251)

[2.2.1. Характеристики режима работы САУ 26](#_Toc485897252)

[2.2.2. Синтез закона управления 26](#_Toc485897253)

[2.2.3. Синтез наблюдателей состояния 30](#_Toc485897254)

[2.2.4. Моделирование замкнутой системы с редуцированными наблюдателями состояния 35](#_Toc485897255)

[3. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ САУ 38](#_Toc485897256)

[3.1. Датчики температуры, влажности и расхода топлива 38](#_Toc485897257)

[3.2. Оценка разрядности ЦАП и АЦП. Выбор микроконтроллера 39](#_Toc485897258)

[3.2.1. Оценка разрядности ЦАП 39](#_Toc485897259)

[3.2.2. Оценка разрядности АЦП 40](#_Toc485897260)

[3.2.3. Определение погрешности формирования управления 40](#_Toc485897261)

[3.3. Описание принципиальной схемы 41](#_Toc485897262)

[3.3.1. Общие характеристики 41](#_Toc485897263)

[3.3.2. Источник питания 41](#_Toc485897264)

[3.3.3. Блок центрального процессора 42](#_Toc485897265)

[3.3.4. Блок управления заслонкой 43](#_Toc485897266)

[3.3.5. Блок индикации 43](#_Toc485897267)

[3.3.6. Блок измерения параметров технологического процесса 44](#_Toc485897268)

[3.4. Оценка надежности САУ 45](#_Toc485897269)

[3.5. Конструктивное исполнение 47](#_Toc485897270)

**4. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ СИСТЕМЫ…………………49**

[4.1. Анализ производственных условий 49](#_Toc485897278)

[4.1.1. Микроклимат в помещении оператора 49](#_Toc485897279)

[4.1.2. Уровень освещенности помещения оператора 50](#_Toc485897280)

[4.1.3. Шумоизоляция помещения оператора 51](#_Toc485897281)

[4.1.4. Электробезопасность помещения оператора 52](#_Toc485897282)

[4.1.5. Пожаробезопасность помещения оператора 52](#_Toc485897283)

[4.2. Разработка мероприятий, снижающих воздействие выявленных вредных факторов 53](#_Toc485897284)

[4.3. Системный анализ отказа работы системы 55](#_Toc485897285)

[4.4 Экологичность работы 57](#_Toc485897286)

[5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ 59](#_Toc485897271)

[5.1. Резюме проекта 61](#_Toc485897272)

[5.2. Расчёт основной заработной платы 63](#_Toc485897273)

[5.3. Расчет дополнительной заработной платы 64](#_Toc485897274)

[5.4. Расчёт отчислений на социальные нужды 64](#_Toc485897275)

[5.5. Расчет стоимости оборудования 65](#_Toc485897276)

[5.6. Оценка эффективности проекта 66](#_Toc485897277)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 72](#_Toc485897287)

[ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 73](#_Toc485897288)

**ВЕДЕНИЕ**

В данной выпускной работе разработана система автоматического управления барабанной сушилкой пульпы Зюддойче Цукер АГ. Пульпа (свекловичная стружка) – побочный продукт производства сахара. Она является ценным сельскохозяйственным продуктом. Важным условием ее эффективного использования является оптимальное влагосодержание. При высокой влажности в свекловичной стружке происходит самонагрев, который приводит к разрушению питательных веществ и, в конечном счете, - загниванию. Пересушенная пульпа становится слишком хрупкой, что неудобно при транспортировке и хранении. Пульпу сушат термическим способом в специальных сушилках особенностью, которых, как объекта автоматизации, является сложность их динамических характеристик (запаздывания, большое время установления и т.д.). В результате ручное управление является неэффективным, ведет к перерасходу топлива и плохому качеству стружки. Поэтому в данном проекте предложена автоматизированная система управления сушилкой в режиме непосредственного цифрового управления.

В первом разделе рассмотрены особенности барабанной сушилки свекловичной стружки как объекта управления. Вследствие того, что физические процессы, происходящие в сушилке, весьма сложны и плохо поддаются аналитическому описанию, то математическая модель объекта была получена в результате идентификации по разгонным характеристикам. Помимо математической модели в первой главе приведены краткое описание технологического процесса сушки пульпы, отдельно рассмотрены функции и требования предъявляемые к САУ.

Второй раздел посвящен алгоритмам функционирования системы. Приведены алгоритмы первичной обработки сигналов аналогового входа. Так же во второй главе проведен синтез модального управления с редуцированным наблюдателем состояния. Проведено моделирование как непрерывной, так и цифроуправляемой системы, определена оптимальная частота выдачи управляющего воздействия.

В третьем разделе рассматриваются особенности реализации САУ. Выбраны датчики и исполнительные механизмы, оценена разрядность АЦП и микроконтроллера, разработана принципиальная схема системы. Также третий раздел посвящен особенности конструктивного исполнения, разрабатывается схема размещения элементов и разводка печатной платы.

В четвертом разделе проводится расчет себестоимости опытного образца САУ и определяется технический эффект от ее внедрения.

В пятом разделе рассмотрена безопасность и экологичность разрабатываемой САУ на всех этапах ее жизненного цикла: разработка, изготовление, изготовление, эксплуатация и утилизация.

# 

# 1. БАРАБАННАЯ СУШИЛКА ЗЮДДОЙЧЕ ЦУКЕР АГ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

## 1.1. Описание технологического процесса

Свежая свекловичная стружка пульпа является промежуточным продуктом при производстве сахара и идет на корм скоту. Пульпа под действием температуры высушивается в барабанной сушилке. Высушенная пульпа должна содержать не более 10% влаги или 90% сухого вещества. Если влажность меньше 10%, то пересушенная пульпа становиться хрупкой. Кроме того, ее производство становится менее экономичным из-за увеличения расхода топлива и снижения веса. Точность поддержания процентного содержания сухого вещества составляет ± 1%.

В данной ВКР рассматривается барабанная сушилка Зюддойче Цукер АГ, технические характеристики которой приведены в таблице 1.1. Схема барабанной сушилки показана на рис. 1.1.

Таблица1.1– Технические характеристики барабанной сушилки Зюддойче Цукер АГ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование технического параметра | Условное обозначение | Единицы измерения | Численное значение |
| Диаметр барабана | *DD* | *м* | 4,6 |
| Длина барабана | *LD* | *м* | 21,0 |
| Скорость подачи сырой пульпы | *MPS MAX* | *т/ч* | 80 |
| Расход нагретого газа | *MKG MAX* | *м3/ч* | 80 000 |
| Расход топлива | *MF MAX* | *т/ч* | 4,8 |
| Температура газов на выходе сушильной печи | 0 |  | 1 050 |
| Температура газов в середине барабана | 1 |  | 140 – 210 |
| Температура газов на выходе барабана | 2 |  | 110 – 155 |

**Высушенная пульпа**

**Подача топлива**

**Барабан**

**Сушильная**

**печь**

**Прессованная пульпа**

**Вспомогательная вентиляционная труба**

**Газы**

Рисунок 1.1 – Схема барабанной сушилки Зюддойче Цукер АГ

За счет сжигания жидкого топлива осуществляется нагрев сушильной печи. Вытяжной вентилятор прогоняет смесь из нагретых газов и продуктов горения через барабанную сушилку. Сырая пульпа (отжатая пульпа с содержанием влаги 70-80%) подается в барабан шнековым. Внутри барабана закреплены крестообразные выступы для равномерного распределения пульпы по барабану. В конце барабана другой шнековой транспортер доставляет высушенную пульпу на элеватор. В процессе сушки можно выделить три стадии. Вначале происходит испарение воды с поверхности пульпы, затем зона испарения смещается во внутренние области свекловичных стружек, а на третьей стадии давление паров внутри свекловичных стружек становится меньше давления насыщенного пара.

Сложность управления процессом сушки связана с его неминимально-фазовыми свойствами, с временами запаздывания в несколько минут, длительностью времени установления, большого диапазона колебаний влажности сырой пульпы и неизмеримых изменений свойств самой пульпы. Регулируемым показателем является содержание сухого вещества в высушенной пульпе. В качестве добавочных регулируемых параметров используются температура газа на выходе сушильной печи, в середине барабана и на выходе из сушилки. Основной управляющей переменной является расход топлива. Введение обратной связи по регулируемой переменной не обеспечивает нужное качество управления; введение обратных связей по температурам газа  и  значительно его улучшает. Содержание воды в прессованной пульпе является возмущающим воздействием. Задача разработки САУ состоит в улучшении качества управления за счет применения управляющей ЭВМ.

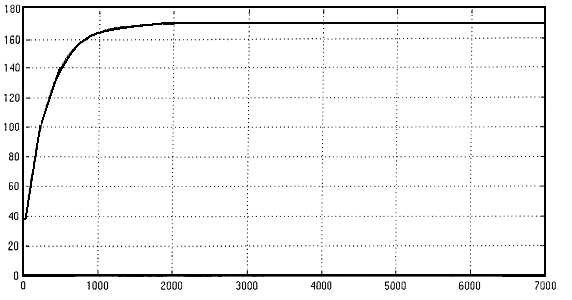
Достижение данной цели возможно в случае управления путем регулирования расхода топлива. В качестве регулируемых переменных выбраны температура в середине сушильной печи, температура на выходе сушильной печи и как главную регулируемая переменная – влажность высушенной стружки. Скорость шнекового транспортера принята постоянной, т.е. считается, что сырая пульпа поступает в сушильный барабан равномерно. Подача нагретых газов также считается постоянной, потому что управление путем регулирования этих параметров неэффективно.

## 1.2. Математическая модель объекта управления

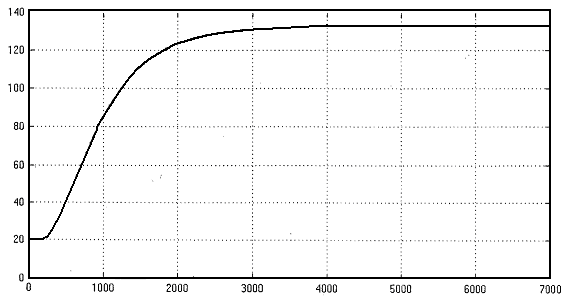
### 1.2.1. Исследование структуры ОУ и его разгонные характеристики

Процессы передачи тепла и массы описаны физическими законами. Движения пульпы исследованы недостаточно, необходимая математическая модель установки не может быть получена теоретическим путем, предпочтительнее осуществить идентификацию объекта управления. Исследуемая барабанная сушилка является типичным примером объекта управления со сложными внутренними взаимодействиями и длительным временем установления переходных процессов. Идентификация объекта управления совместно с автоматизацией расчета различных систем управления приводит к более глубокому пониманию свойств объекта и позволяет моделировать и проводить сравнение различных вариантов систем управления. Однако в связи с тем, что сушильная установка обычно работает при полной нагрузке, в адаптивных алгоритмах управления необходимости не возникает, и требуемые показатели качества обеспечиваются обычными алгоритмами управления с фиксированными параметрами. Одной из главных целей изучения объекта управления является построение математической модели, адекватно описывающей его функционирование в реальных условиях производства. Математическая модель необходима не только для синтеза того или иного алгоритма управления, но и для оценки достижимого качества управления и обоснованного выбора «рабочего» варианта алгоритма.

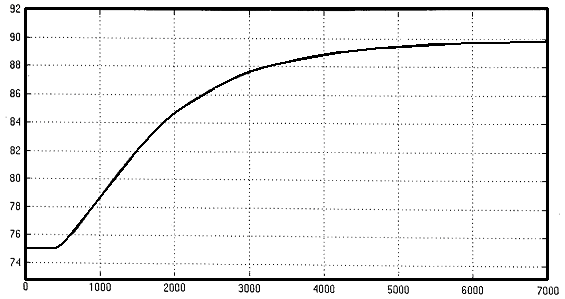
Модель объекта управления находится по реакции объекта на ступенчатое воздействие. Результат эксперимента по идентификации приведен на рис. 1.2. На рис. 1.2,а и 1.2,б показаны графики изменения температуры в середине и в конце барабана при изменении подачи топлива на 1 кг/с. На рис. 1.2,в приведен график изменения процентного содержания сухого вещества в пульпе на выходе сушилки при том же изменении скорости подачи топлива.



а)



б)



в)  
Рисунок 1.2 – Переходные процессы в исследуемом объекте

Анализируя разгонные характеристики и конструктивные особенности ОУ можно составить структурную схему барабанной сушилки (рис. 1.3).

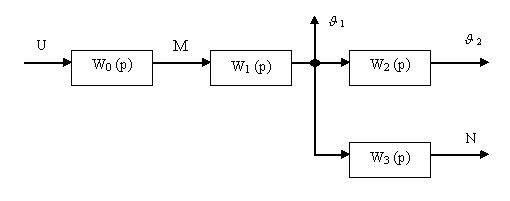


Рисунок 1.3 – Структурная схема барабанной сушилки.

На рис. 1.3 приняты обозначения: *U* – управляющее напряжение;   
 – температура в середине барабана;  – температура на выходе барабана;   
*N* – процентное содержание сухого вещества в пульпе на выходе барабана;  – передаточная функция канала управляющего напряжения – подача топлива, то есть заслонки и ее привода;  – передаточная функция канала подачи топлива – температура внутри барабана;  – передаточная функция канала температуры внутри барабана – температура на выходе барабана;   
 – передаточная функция канала температуры внутри барабана – влажность пульпы на выходе барабана.

### 1.2.2. Определение передаточных функций

Передаточные функции объекта управления определяются по разгонным характеристикам (рис. 1.2). Их анализ показывает, что наименьшее время установления соответствует температуре газа в середине барабана, и оно значительно возрастает на его выходе, а изменение температуры газа на выходе характеризуется запаздыванием порядка 4 мин. Изменение процентного содержания сухого вещества в высушенной пульпе имеет запаздывание порядка 5 мин., обратный выброс в течение приблизительно 23 мин., время установления около 1,5 *ч*, так как ОУ многомерный, найдем передаточные характеристики по каждому выходу.

#### 1.2.2.1. Передаточная функция по температуре газа внутри сушилки

Переходный процесс изменения температуры в середине барабана сушильной установки при единичном изменении подачи топлива представлен на рис. 1.2,а. Его можно аппроксимировать переходной функцией инерционного звена первого порядка. Из графика на рис. 1.2,а имеем:

* Начальное значение температуры – .
* Установившееся значение температуры – .
* Время переходного процесса – 
* Запаздывания нет.

Следовательно, постоянная времени



* коэффициент передачи



Таким образом, передаточная функция расход топлива – температура внутри сушилки имеет следующий вид:

 (1.1)

Переходная характеристика объекта с передаточной функцией (1.1) представлена на рис. 1.4. Установившееся значение – 150. а время регулирования этого объекта равно 1200 с. Полученная переходная характеристика аппроксимирует разгонную характеристику по температуре внутри барабана   
(см. рис. 1.2,а).

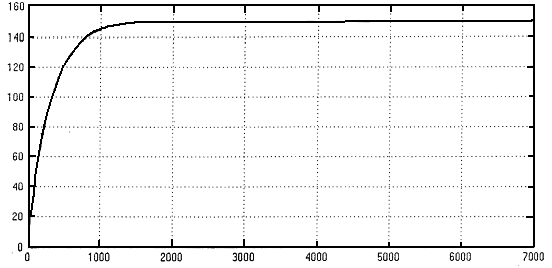


Рисунок 1.4 – Переходная функция по температуре в середине барабана.

#### 1.2.2.2. Передаточная функция по температуре газа на выходе сушилки

График переходной функции температуры на выходе сушильного барабана при единичном изменении количества подаваемого топлива представлен на рис. 1.2,б. Эту функцию, учитывая структурную схему барабана (рис. 1.3) аппроксимируем переходной функцией, соответствующей произведению *W1(p)* и инерционного звена первого порядка с запаздыванием, т.е.



По графику на рис. 1.2,б находим:

* Начальное значение температуры –.
* Установившееся значение температуры – .
* Запаздывание – 
* Время переходного процесса – 
* Коэффициент передачи



Следовательно,



В результате аппроксимации графика на рис. 1.2.б с помощью пакета   
SIMULINK при *,*  – определяем значение постоянной времени .

Таким образом, передаточная функция канала расход топлива – температура на выходе сушилки имеет следующий вид:

 (1.2)

Переходная характеристика с передаточной функцией (1.2) представлена на рис. 1.5. Время задержки – 180 с, время регулирования равно 2400 с, а установившееся значение – 112,5. Полученная переходная характеристика точно аппроксимирует разгонную характеристику по температуре на выходе барабана (см. рис. 1.2,б).

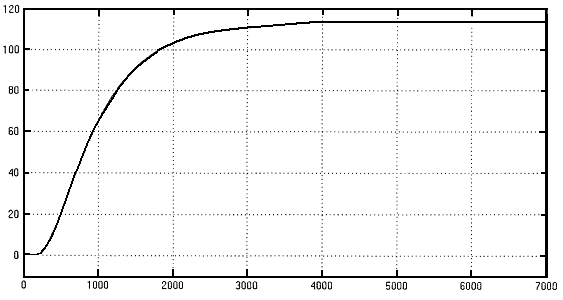


Рис. 1.5. Переходная функция по температуре на выходе барабана.

#### 1.2.2.3. Передаточная функция по влажности пульпы

График переходной функции по влажности пульпы при единичном изменении количества подаваемого топлива представлен на рис. 1.2,в. Учитывая структурную схему сушилки (рис. 1.3) аппроксимируем ее переходной функцией *W1*(*p*) и инерционного звена первого порядка с запаздыванием, т.е.



По графику на рис. 1.2,в находим:

* Начальное значение влажности пульпы – 
* Установившееся значение влажности пульпы – 
* Время переходного процесса – .
* Запаздывание – .
* Коэффициент передачи



Следовательно



В результате аппроксимации графика на рис.1.2.в при  , и определим постоянную времени и .

Таким образом, передаточная функция канала расход топлива – влагосодержание пульпы имеет следующий вид:

 (1.3)

На рис. 1.6 представлена переходная характеристика объекта с передаточной функцией (1.3). Время задержки – 360 с, время регулирования этого объекта равно 5400 с а установившееся значение – 15. Полученная переходная характеристика достаточно точно аппроксимирует разгонную характеристику по температуре на выходе барабана (см. рис. 1.2.в).

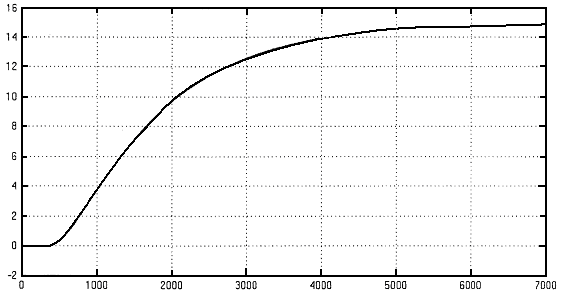


Рисунок 1.6 – Переходная функция по влажности пульпы.

Для удобства дальнейших расчетов экспоненты целесообразно заменить их дробно-рациональными приближениями:

Тогда передаточные функции примут следующий вид:

 (1.4)

 (1.5)

Итак, рассматриваемый объект описывается моделью пятого порядка с одной входной и тремя выходными переменными.

### 1.2.3. Выбор привода заслонки

Структурная схема привода заслонки приведена на рис. 1.7.

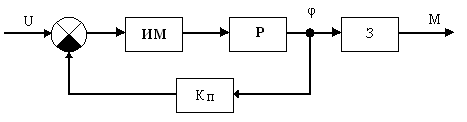
****

Рисунок 1.7 – Схема привода заслонки.

На рис. 1.7 приняты обозначения: ИМ – исполнительный механизм,   
Р – редуктор, З – заслонка, U – управляющее напряжение, φ – угол поворота заслонки, КП – коэффициент передачи потенциометра, М – скорость подачи жидкого топлива.

В зависимости от типа регулирующего органа и по необходимому моменту нагрузки осуществляется выбор привода. Момент, развиваемый ИМ, должен быть больше реактивного момента , обусловленного стремлением потока топлива закрыть заслонку, из-за необходимости учета затяжки сальников и трения в опорах. Поэтому, обычно выбирают ИМ с моментом равным

**

где а – коэффициент, зависящий от угла поворота ( значение этого коэффициента максимально и равно 0,07),

Р – перепад давления на диске заслонки, D – диаметр диска заслонки.

*P = 2000 кГс/м2, D = 0,1 м,*

*M реак = 0,07 · 2000 ·0,13 = 0,14 кГс · м,*

*M им = 2 · 0,14 = 0,28 кГс ·м.*

Для управления заслонками выбираются однооборотные МЭО или многооборотные МЭМ – исполнительные механизмы. Однооборотные ИМ типа МЭО поворачиваются на требуемый угол за указанное время. Такой тип ИМ выпускается с концевыми выключателями, ограничивающими положение выходного вала и сигнализирующими о достижении предельных значений положения.

Выберем МЭО-4/40-68, в качестве ИМ, который имеет следующие технические характеристики:

* номинальный момент на выходном валу – *4 кГс · м*;
* время одного оборота выходного вала – *40 с*;
* максимальный рабочий угол поворота выходного вала – *90 *;
* напряжение питания при частоте *50 Гц – 220 В*;
* потребляемая мощность – *65 В · А*;
* габаритные размеры – *370 Ч 300 Ч 325 мм*;
* масса – *26 кг*.

Из параметров выбранного МЭО-4/40-68 рассчитаем, что время поворота выходного вала на  *90 * составляет

.

Так как постоянные времени ИМ меньше полученного значения, то инерционностью ИМ можно пренебречь.

Из параметров выбранных устройств следует, что максимальное управление на ИМ составляет 5В, а максимальная выходная величина составляет 90 за 10 с. Поэтому коэффициент передачи ИМ

.

Следовательно, передаточная функция исполнительного механизма

.

Если коэффициент передачи редуктора равен единице, то его передаточная функция (без учета люфта)



Передаточная функция привода заслонки (рис. 1.7)



где  

Максимальный угол поворота заслонки =, максимальное управляющее напряжение = 5В, следовательно, требуемый коэффициент передачи привода заслонки



Таким образом, коэффициент передачи потенциометра



Постоянная времени привода заслонки

.

Так как постоянная времени на порядок меньше самой малой постоянной времени объекта, то инерционностью такого привода можно пренебречь, а его передаточная функция имеет вид

.

Максимальный угол поворота заслонки =. Этому положению заслонки соответствует максимальная скорость подачи топлива . Тогда коэффициент передачи заслонки



и передаточная функция заслонки вместе с ее приводом

. (1.6)

### 1.2.4. Уравнения сушилки в переменных состояния

Модель объекта управления в пространстве состояния в общем виде записывается следующим образом [4]



Следует перейти от передаточных функций (1.1), (1.4)-(1.6) звеньев ОУ (рис. 1.3) к их дифференциальными уравнениями вход-выход.

**

,



.

Последнюю систему можно привести к нормальному виду

 (1.7)

где 

Уравнения выходов

 (1.8)

Последние две системы можно представить в матричной форме

 (1.9)

где *x = [x1 x2 x3 x4 x5]T* – вектор переменных состояния; *y = [y1 y2 y3]T* – вектор выходных переменных; *u = U* – управление,

, .

# 2. АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

## 2.1. Методы первичной обработки сигналов

### 

### 2.1.1. Опрос датчиков

В разрабатываемой системе используется четыре аналоговых датчика. Датчики влажности сушеной пульпы, температуры газа внутри и на выходе барабана опрашиваются 1 раз в 6 с, а датчик расхода мазута - 1 раз в минуту. Блок-схема подпрограммы ввода сигналов от датчиков при­ведена на рис. 2.1.

Да

Нет

Да

Нет

Нет

Да

Нет

Вход

Определить число опрашиваемых датчиков в текущем цикле *N*

Установить номер датчика *i=1*

Установить коммутатор для опроса *i*-го датчика

Конец операции?

Установить диапазон усиления по *i*-му каналу

Диапазон установлен?

Запустить АЦП

Есть сигнал готовности с АЦП?

Опросить АЦП

Обратить сигнал *i*-го датчика

Модификация номера датчика *i=i+1*

Конец Списка датчиков?

*i*>N

Выход

Рисунок 2.1 – Блок-схема подпрограммы ввода сигналов аналоговых датчиков

### 2.1.2. Проверка на достоверность, отклонение от технологических границ и фильтрация

При обрыве в канале связи, импульсной поме­хи, неисправности датчика и т.д., - выходной сигнал АЦП может быть недостоверен. Для обеспечения адекватной работы системы проводится проверка сигналов, получаемых с АЦП, на достоверность с интервалом контроля *k=8*. Проверка проводится в соответст­вии со следующими соотношениями.

 (2.1)

где -допустимое изменение измеряемой величины на интервале контроля.

Фильтрация низкочастотных помех основана на применении метода экспоненциального сгла­живания с параметром  по формуле

 (2.2)

Проверка на технологические границы осуществляется в соответствии со следующими формулами

*γik=1* при *xik ≥ xBi* при *xik ≤ xHi*

*γik=0* при *xHi + δiγi(k-1) ≤ xik ≤ xBi − δiγi(k-1).*

где *γik* – признак нарушения; если *γik=1*, то фиксируется время нарушения и величина отклонения переменной от технологической границы; *хBi, xHi* – верхняя и нижняя технологические границы; *δi = (xBi – xHi)·0,05* – полоса гистерезиса.

### 2.1.3. Сбор и обработка входной информации

Блок-схема программы сбора и обработки информации датчиков приведена на рис. 2.2.

Нет

Нет

Нет

Да

Да

Да

Да

Да

Нет

Нет

Нет

Да

Да

Есть проверка на достоверность?

Сигнал достоверен?

Необходима цифровая фильтрация?

Программа цифровой фильтрации

Требуется линеаризация?

Подпр. нелинейного масштабирования

Необходима проверка на технологические границы?

Подпр. проверки на технологические гр.

Засылка результатов в выходной массив данных

Модификация номера датчика *i=i+1*

Конец Списка датчиков? *i>4*

Надо опрашивать i-й датчик в этой цикле?

Программа ввода аналогового сигнала

Подпрограмма проверки на достоверность

Вход

Подпр. линейного масштабирования

Подпр. сигнализации и печати об аварии

Вход

Установить номер датчика *i=1*

Рисунок 2.2 – Блок-схема программы сбора и первичной обработки входных сигналов

## 2.2. Алгоритмы управления

### 2.2.1. Характеристики режима работы САУ

Разрабатываемая САУ является однорежимной, так как работает в одном режиме. Характеристики режима ее работы приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1– Характеристики режима работы

|  |  |
| --- | --- |
| Контролируемый технологический параметр | Влажность высушенной пульпы |
| Тип управления | Непосредственное цифровое управление |
| Цель управления | Стабилизация влажности высушенной пульпы |
| Критерий эффективности | Точность, быстродействие |
| Связь управления с контролируемым параметром | Изменение расхода мазута |
| Интервал выдачи управляющих воз­действий | 6с |
| Информационное обеспечение (пере­чень исходных данных) | Датчики температуры газа в середине и на вы­ходе барабана, датчик расхода мазута, датчик влажности высушенной пульпы |
| Период опроса датчиков | Датчик расхода мазута - 1 мин; Датчики температуры газа в середине и на вы­ходе барабана, датчик влажности сушеной пульпы – 6 с; |

### 2.2.2. Синтез закона управления

К качеству и точности переходного процесса предъявляются следующие требования:

* Время регулирования  не более 
* Нулевая статическая ошибка.
* Перерегулирование не более .

Синтез модального управления с наблюдателем состояния осуществляется в соответ­ствии с методикой, описанной в [4].

Проверим наблюдаемость объекта. Матрица наблюдаемости



Ранг этой матрицы совпадает с порядком системы n

*rang Q = n = 5*

Следовательно, объект является полностью наблюдаемым.

Проверим управляемость объекта. Матрица управляемости

*G = [B AB A2B A3B A4B] =*



Определитель этой матрицы не равен нулю

*det G = − 1,400 ·10 -31 ≠ 0.*

Следовательно, ранг этой матрицы совпадает с порядком системы n

*rang G = n = 5.*

Следовательно, объект является полностью управляемым.

Приведем уравнения объекта к нормальной форме (такой при которой матрица *А* будет сопровождающей). Такое преобразование возможно, поскольку *det G ≠ 0*.



Характеристический полином матрицы *А*

*det[pE − A] = p5 + α4p4 + α3p3 + α2p2 + α1p + α0 =*

*= p5 + 0.02259 p4 + 1.706·10-4 p3 + 5.386·10-7 p2 + 7.016·10-10 p + 2.942·10-13.*

Найдем матрицу преобразования

*P = [p1 p2 p3 p4 p5],*

где *p5 = B, p4 = AB + α4B, p3 = A2B + α4AB + α3B,*

*p2 = A3B + α4A2B + α3AB + α2B, p1 = A4B + α4A3B + α3A2B + α2AB + α1B.*



Приведем уравнения объекта к нормальной форме по следующим формулам



Преобразование уравнения объекта

 (2.3)

где 



Определим желаемый характеристический полином системы. Чтобы обеспечить желаемое время переходного процесса, вещественные части собственных чисел системы должны удовлетворять следующему условию

 (2.4)

Чтобы исключить колебательность, мнимые части собственных чисел выберем нулевыми

*Im λi = 0.* (2.5)

При этом, чтобы обеспечить первый порядок астатизма по выходу у3 свободный член характеристического полинома

*β0 = 1.6772·10-12*(2.6)

Пусть

*λ1\* = − 0.0013, λ2\* = − 0.003, λ3\* = − 0.004, λ4\* = − 0.005, λ5\* = − 0.021502* (2.7)

Тогда желаемый характеристический полином



Найдем компоненты вектора управления по формуле



Закон управления в пространстве нормальной системы

*u = − [1.3829·10-12 1.9801·10-9 9.2836·10-7 0.00017795 0.012207]* (2.8)

Перейдем к исходным переменным

**

*u = − [0.055196 -11.09 -0.013345 74.805 0.37269] x*  (2.9)

### 2.2.3. Синтез наблюдателей состояния

Непосредственному измерению в барабанной сушилке подлежат только три из пяти переменных состояния: температура газов внутри барабана *x1*, температура газов на выходе барабана *x3* и влажность высушенной пульпы *x5*. Для определения остальных переменных состояния *x2* и *x4* следует построить наблюдатели состояния. Барабанную сушилку описывается следующей матричной системой уравнений в переменных состояния.

**

*y = CTx*  (2.10)

где *x = [x1 x2  x3 x4 x5]T* – вектор переменных состояния; *y = [y1 y2 y3]T* – вектор выходных переменных; *u = U* – управление,

,



Проведем декомпозицию системы (2.10). Можно выделить три подсистемы ОУ1:

**  (2.11)

где *а1 = − 3.333·10-3, b1 = 0.19, c1 = 1.*

Эта подсистема первого порядка *n1=1* и ее переменная состояния *x1* измеряется посредственно ОУ2:

*ż2 = A2z2 + b2u + h2x1,*

*y2 =,* (2.12)

где *z2 = [x2 x3]T*, , *b2 = [–2.568·10 -4 0]T,*

*h2 = [1.952·10 -5 0]T,* *= [0 1].*

Эта подсистема второго порядка *n2=2*. Непосредственно измеряются здесь переменные состояния *x1* и *x3*. Переменную *x2* необходимо оценить ОУ3:

*ż3 = A3z3 + b3u + h3x1,*

*y3 = ,* (2.13)

где *z3 = [x4 x5]T, , b3 = [–1.508·10-5 0]T, h3 = [7.055·10-7 0]T, c3T = [0 1].*

Эта подсистема второго порядка *n3=2*. Здесь непосредственно измеряются переменные состояния *x1* и *x5*. Переменную состояния *x4* необходимо оценить.

Таким образом, для ОУ2 и ОУ3 следует построить редуцированные наблюдатели Луенбергера первого порядка.

#### 2.2.3.1. Построение наблюдателя состояния для ОУ2

Для построения наблюдателей воспользуемся методикой изложенной в [4]. Характеристический полином матрицы *А2*

*det [pE − A2] = p2 + α1 p + α0 = p2 + 0.012913 p + 2.002·10-5.*

Найдем матрицу преобразования P1.



 (2.14)

Поскольку определитель матрицы *Р1*

*det P1 = 1 ≠ 0*

отличен от нуля, то ОУ2 наблюдаем и построение наблюдателя возможно.

В уравнении (2.12) перейдем к канонической наблюдаемой форме. Для этого используем преобразование



Тогда получим

 (2.15)

где 



Зададимся собственным числом наблюдателя так, чтобы оно было меньше самого малого собственного числа замкнутой системы. Пусть

*ν\* = – 0.03.*

Тогда поскольку *n2 = 1*



И матрица преобразования примет вид

 (2.16)

С помощью преобразования



полученную ранее систему (2.15) приводим к следующему виду

 (2.17)

где ,



На основе последней системы можно составить уравнение редуцированного наблюдателя

 (2.18)

где - оценка переменной *x2*.

Для удобства моделирования в среде SIMULINK выражение для  целесообразно представить в операторной форме



#### 2.2.3.2. Построение наблюдателя состояния для ОУ3

Характеристический полином матрицы *А3*

*det [pE − A3] = p2 + α1 p + α0 = p2 + 0.0063492 p + 4.4092·10-6*.

Найдем матрицу преобразования *P3*.



 (2.19)

Поскольку определитель матрицы *Р3*

*det P3 = 1 ≠ 0*

отличен от нуля, то ОУ3 наблюдаем и построение наблюдателя возможно.

В уравнении (2.13) перейдем к канонической наблюдаемой форме. Для этого используем преобразование



Тогда получим

 (2.20)

где 

.

Пусть собственное число наблюдателя для ОУ3 совпадает с собственным числом наблюдателя для ОУ2. Тогда матрица преобразования *Р2* имеет вид (2.16).

С помощью преобразования



полученную ранее систему (2.20) приводим к следующему виду

 (2.21)

где ,



На основе последней системы можно составить уравнение редуцированного наблюдателя

 (2.22)

где - оценка переменной *x4*.

Для удобства моделирования в среде SIMULINK выражение для  целесообразно представить в операторной форме



Итак, управляющее воздействие будет рассчитываться в соответствии со следующей формулой



где вектор *k = [k1 k2 k3 k4 k5]* – вектор из соотношения (2.9).

Отсюда выводим

*u = − 0.055196 x1 + 11.09 + 0.013345 x3 – 74.805 – 0.37269 x5*. (2.23)

### 2.2.4. Моделирование замкнутой системы с редуцированными наблюдателями состояния

Моделирование замкнутой системы с синтезированным законом управления (2.23) и двумя редуцированными наблюдателями состояния (2.18) и (2.22) проводится в системе SIMULINK. На рис. 2.3. представлена имитационная модель набранная в SIMULINK. На рис. 2.4 – 2.7 приведены результаты моделирования.

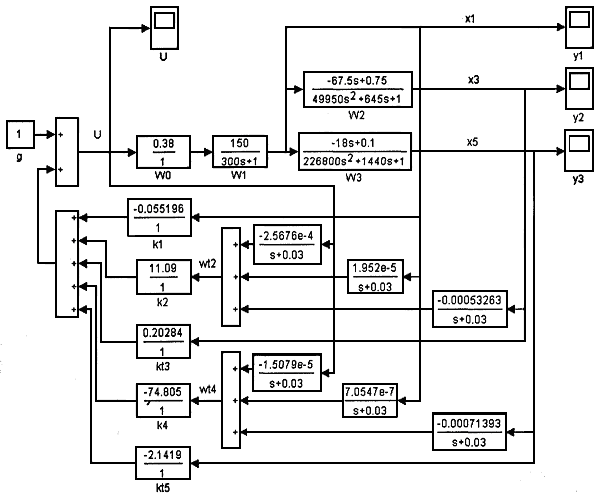


Рисунок 2.3 – Моделируемая структурная схема непрерывной замкнутой системы

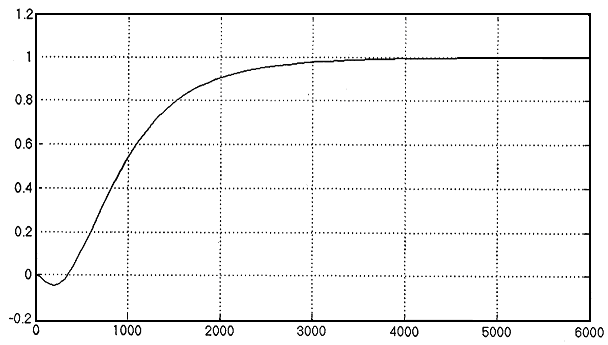


Рисунок 2.4 – Переходная характеристика по влажности пульпы N/Nº

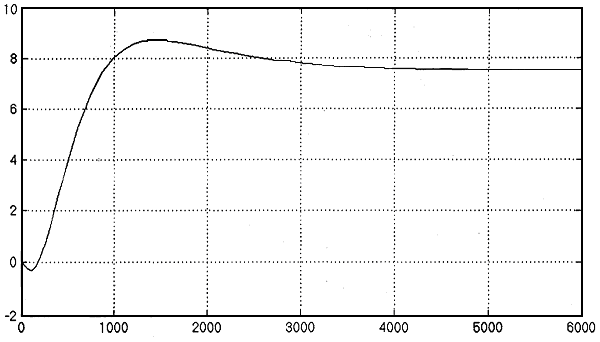


Рисунок 2.5 – Переходная характеристика по температуре на выходе барабана 

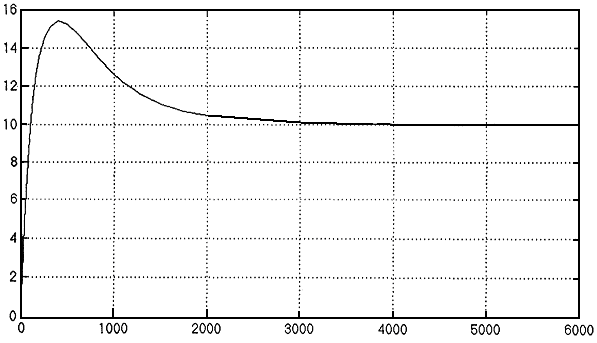


Рисунок 2.6 – Переходная характеристика по температуре в середине сушильного

барабана 

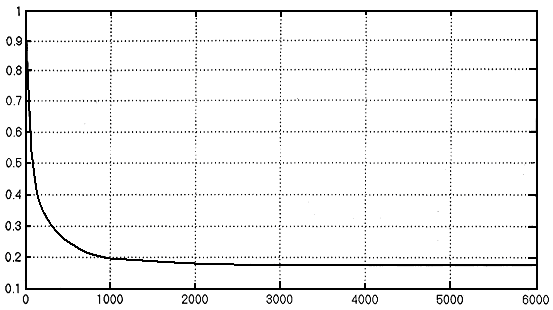


Рисунок 2.7 – Управляющее воздействие *u*

Из рисунка видно, что время регулирования *tp =2400 c*. Из рис.2.4 видно, что по выходной координате *y3=x5=N* (влажность сушенной пульпы) перерегулирование и статическая ошибка равны нулю.

# 3. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ САУ

## 3.1. Датчики температуры, влажности и расхода топлива

1. Датчик температуры

Для температур до 200°С наиболее подходящим вариантом будет приёмник температуры ПП19. Представляющий собой последовательно-параллельное соединение терморезисторов с взаимно обратными нелинейными температурными зависимостями сопротивления. Благодаря такому схемному решению, этот приёмник температуры имеет высокую степень линейности выходной характеристики. Нелинейность температурной зависимости сопротивления составляет 0.075 % на 27°С.

2. Датчик влажности

Для измерения влажности свекловичной стружки - будем использовать импортный датчик содержания воды в сыпучих телах - CS505. Этот датчик работает в диапазоне от 1 до 95 % относительной влажности. Точность измерения влажности составляет 0.05 %.

3. Датчик расхода топлива

Так как топливом является жидкость - мазут, то лучше использовать бесконтактные ультразвуковые расходомеры. В нашей стране доступна широкая номенклатура этих изделий как отечественного, так и зарубежного производств.

Датчики расхода газов и жидкостей представляют собой бесконтактные устройства, осуществляющие измерение расхода косвенно по скорости с использованием эффекта Доплера. В качестве рабочего органа используются пъезоакустические пре­образователи, установленные на трубе. Примером такого датчика может служить V-203, производства фирмы «Bronkhorst High-Tech B.V.»

Основные технические характеристики этого расходомера следующие: точность измерения расхода *±* 1 %*,* диапазон 0.1 ÷ 45 м3/ч. Выходной сигнал 0÷5В.

## 3.2. Оценка разрядности ЦАП и АЦП. Выбор микроконтроллера

Исходные данные.

1. Изменение относительной влажности сушеной пульпы - 75÷96 *%* относительная влажность

2. Точность поддержания относительной влажности - 1*%*

3. Статический коэффициент передачи в контуре управления влажностью исполнительного блока *kИБ1 =* 57, объекта управления *kОУ1 =* 0.1.

4. Максимальное значение управляющего воздействия *u =* 5.

5. Закон управления температурой модальный с двумя наблюдателями состояния

*u = −* 0.055196 *x1 +* 11.09 *+* 0.013345 *x3 –* 74.805 * –0,37269 x*5*,*

где *x1*(температура в середине барабана), *х3* (температура на выходе барабана) и *x5* (влажность высушенной пульпы) измеряются, a  и  вычисляются по следую­щим соотношениям





6. Период выдачи управления 0.1 *мин*.

7. Алгоритм первичной обработки - экспоненциальное сглаживание с параметром *=* 0.02.

### 3.2.1. Оценка разрядности ЦАП

Допустимая погрешность представления управляющего воздействия на выходе ис­полнительного блока

 (3.1)

где 

Следовательно

 (3.2)

### 3.2.2. Оценка разрядности АЦП

Датчик измеряет влажность с точностью *0.1 %,* следовательно

** (3.3)

Пусть , тогда разрядность АЦП32

 (3.4)

### 3.2.3. Определение погрешности формирования управления

Погрешность на входе УВМ, с учетом того, что погрешность измерения датчика подчиняется нормальному закону распределения

 (3.5)

Для избежания влияния ошибок, связанных с вычислением кода управляющего воздействия, выберем микро ЭВМ с длиной разрядной сетки большей, чем разрядность АЦП. То есть выберем 16-ти разрядную микро ЭВМ.

Погрешность метода вычисления П -закона управления отсутствует.

Трансформированная погрешность возникает при обработке сигналов с датчиков. Поэтому согласно (2.23)

 (3.6)

Погрешность округления будем считать равной нулю, так как будет использоваться 16 разрядный микропроцессор.

В этом случае погрешность вычисления кода управляющего воздействия в микро ЭВМ будет

 (3.7)

Как видно из выражения (3.7) теоретически рассчитанная точность формирования управляющего воздействия выше минимально необходимой для данного технологического процесса.

## 3.3. Описание принципиальной схемы

### 3.3.1. Общие характеристики

Главным элементом управляющего устройства является однокристальная микроЭВМ типа C85051F022 производства фирмы CYGNAL. Этот микроконтроллер имеет в своём составе многоканальный АЦП на 12 разрядов, два ЦАПа, развитую систему ввода-вывода, состоящую из восьми восьмиразрядных портов, двух асин­хронных портов, широтно-импульсных преобразователей, и двух компараторов аналоговых сигналов. Перечисленные особенности и большой объём внутренней памяти программ и данных, а также наличие внутрисхемного отладочного интерфейса, позволяют использовать эту однокристальную микро ЭВМ для автоматизации технологических процессов высокой степени сложности. Применительно к данному проекту, в микро ЭВМ задействованы следующие устройства: 4 канала 12-тиразрядного АЦП, один 12-тиразрядный ЦАП, и порты ввода-вывода.

### 3.3.2. Источник питания

Разрабатываемое устройство питается от сети переменного тока с напряжением 220В и частотой 50Гц. Входной трансформатор Т1 преобразует напряжение сети в переменное напряжение 19В, выходные обмотки включены последовательно со средней точкой. Далее диодный выпрямительный мост VD1 совместно с электролитическими конденсаторами большой ёмкости С2 и СЗ преобразует это переменное напряжение в биполярное постоянное с амплитудой 27В. Конденсатор С1 предназначен для сглаживания пульсаций напряжения в питающей сети. Резисторы R1 и R2 ограничивают пусковой ток, протекаю­щий в момент зарядки электролитических конденсаторов.

Индуктивности L1-L4 совместно с конденсаторами С4-С9 образуют   
LC-фильтр нижних частот, удаляющий переменные составляющие напряжения не входе интегральных стабилизаторов.

Выпрямленное и сглаженное питающее напряжение, стабилизируется до уровней ±5В, +3.3В и +2.5В. Для этого используются интегральные стабилизаторы напряжения DA5, DA6, DA11, DA12 типа К142ЕН12, К142ЕН18, REF192GS, LM2937 соответственно.

Резисторы R21-R26 используются для установки уровней стабилизируемых напряжений.

Конденсаторы С10, С11 и С16, С17 и С22, С23 используются для повышения устойчивости стабилизаторов, защищая их от самовозбуждения.

Напряжения ±5В используются для питания усилителей, +3.3В – для питания процессора, а +2.5В – для подачи опорных напряжений на ЦАП и АЦП и питания внутренних аналоговых цепей процессора.

Для уменьшения уровня помех, распространяющихся по цепям питания, в устройстве общие провода для аналоговых устройств и для цифровых разделены, и соединяются вместе только в средней точке сетевого трансформатора. Изображённый на схеме резистор R31 должен иметь как можно меньшее сопротивление, стремящееся к нулю.

### 3.3.3. Блок центрального процессора

Как было сказано выше, примененный процессор является функционально закон­ченной однокристальной микроЭВМ, а потому не требует большого количества специаль­ных внешних цепей для поддержания его работоспособности.

Для задания тактовой частоты используется кварцевый резонатор ZQ1 и два кон­денсатора С24 и С22. Кварцевый резонатор должен иметь частоту третьей гармоники 24МГц. Разъём ХР1 используется для загрузки программы и данных во внутреннюю энерго­независимую память, а также для внутрисхемной отладки программного продукта на эта­пе проектирования.

Резистор R44, конденсатор С27 и кнопка SB1 образуют схему сброса процессора при включении питания, а также по желанию оператора.

Конденсаторы С29, С31, С32, С33 призваны подавлять помехи, распространяю­щиеся по цепям питания, и должны устанавливаться как можно ближе к корпусу микро­процессора.

### 3.3.4. Блок управления заслонкой

Выдача управляющего напряжения на заслонку осуществляется с помощью встро­енного в микроконтроллер ЦАПа. Так как сигнал на выходе ЦАПа имеет ступенчатую форму, то для его сглаживания используется фильтр нижних частот второго порядка, вы­полненный на операционном усилителе DA14 типа КР140УД1208, резисторах R45, R50, R57 и конденсаторах С30, С34. Резистор R59 используется для задания режима работы операционного усилителя. Подстроечный резистор R65 регулирует смещение нуля в вы­ходном сигнале. Частота среза этого фильтра выбирается такой, чтобы исключить его влияние на передаточную функцию замкнутой системы управления.

Далее сглаженный сигнал поступает на усилитель мощности. Усилитель представ­ляет собой последовательное соединение операционного усилителя и эмиттерного повторителя, охваченных отрицательной обратной связью. Такая схема позволяет добиться вы­сокой линейности амплитудной характеристики при достаточно высокой выходной мощ­ности. Усилитель мощности построен на операционном усилителе DA13 типа КР140УД1208 и резисторах R46, R47, R49, R55, R60, R61, R62 и транзисторах VT3, VT5. Резистор R50 используется для задания режима работы операционного усилителя. Построечный резистор R54 регулирует смещение нуля в выходном сигнале.

### 3.3.5. Блок индикации

Для отображения параметров технологического процесса используются семисегментные светодиодные индикаторы HL1-HL8. Управление ими осуществляется через порты ввода-вывода микроконтроллера. Для усиления управляющих сигналов использу­ются буферные элементы типа К1533АП6   
(DD6-DD10, DD1). Для уменьшения количества задействованных в микроконтроллере выводов используется временное мультиплексирование семисегментных индикаторов. Это означает, что в произвольный момент времени сигнал подаётся только на один индикатор, а благодаря особенностям человеческого зре­ния (его инерционности) кажется, что светятся все восемь индикаторов. Для отображения состояния каждого технологического параметра используется два индикатора. То есть температура отображается с точностью до градуса, влажность - 1 %, расход - 0.1 т/ч.

В случае возникновения аварийной ситуации (выход температуры или влажности за допустимые пределы, или сбой в программе) загорается один из сигнальных светодиодов VD2, VD3, VD4, VD5. Включение или выключение светодиодов происходит через транзи­сторные ключи (транзисторы VT1, VT2, VT4, VT6, резисторы R48, R53, R57, R64) для уменьшения токовой нагрузки на выходы микроконтроллера. Для ограничения силы про­текающего через светодиоды тока используются резисторы R52, R56, R63, R68.

### 3.3.6. Блок измерения параметров технологического процесса

Точность определения температуры непосредственным образом влияет на качество технологического процесса.

Для измерения сопротивления терморезистивных датчиков температуры используется следующая методика: через терморезисторы пропускается ток заранее известной силы, и замеряется падение напряжения, отношение напряжения к току; получим величину термосопротивления, которая является функцией температуры.

В качестве источников постоянного тока используется известная схема электронного имитатора на операционных усилителях [8].

Два одинаковых источника тока силой по 1мА выполнены на элементах DA1, DA3, R3, R4, R7, R13, R15 - первая схема, и DA2, DA4, R5, R6, R9, R14, R16. Принцип работы этих источников тока основан на сравнении втекающего и вытекающего в инвер­тирующий вход ОУ тока. Втекающий ток задаётся источником опорного напряжения +2.5В и резисторами R3 - для первой схемы, R5 - для второй. А вытекающий ток пропорцио­нален току в нагрузке, который измеряется с помощью эталонного резистора и дифферен­циального усилителя (R13 и DA3, R14 и DA4 для первой и второй схемы соответственно).

Фактически используемые источники тока представляют собой преобразователи типа «напряжение-ток» с отрицательной обратной связью по току. Эти источники обеспе­чивают стабилизацию тока в нагрузке в диапазоне

-30+50 °С с точностью ± 1 мкА.

Напряжение с выходов датчиков проходит через фильтры нижних частот, идентич­ные примененному в блоке управления заслонкой. Применение этих фильтров обусловлено необходимостью подавления высокочастотных помех во входном сигнале.

## 3.4. Оценка надежности САУ

Элементы рассматриваемой САУ и интенсивности их отказов приведены в таблице 3.1. Резервирование в системе отсутствует.

Таблица 3.1– Элементы рассматриваемой САУ и интенсивности их отказов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Наименование элементов | Интенсивность отказов в 1/ч |
| 1 | Барабанная сушилка | 1.286Е-6 |
| 2 | Датчик влажности пульпы | 5.511Е-7 |
| 3 | Датчик температуры газа в середине барабана | 4.287Е-7 |
| 4 | Датчик температуры газа на выходе барабана | 4.287Е-7 |
| **5** | Датчик расхода мазута | 4.823Е-7 |
| 7 | Микроконтроллер | 1.157Е-9 |
| 9 | Исполнительный механизм | 7.716Е-7 |

Будем считать, что надежность всех элементов распределена по экспоненциальному закону

**,**

где *i = 1,2,3,...9*. В данной системе целесообразно считать, что все элементы соединены последовательно. Тогда интенсивность отказов всей системы

****

Время наработки на отказ

*лет*.

Вероятность безотказной работы системы



Определим время, в течении которого система будет безотказно работать с вероятностью .



Будем считать, что надежность всех элементов распределена по экспоненциальному закону

**,**

где *i = 1,2,3,...9*. В данной системе целесообразно считать, что все элементы соединены последовательно. Тогда интенсивность отказов всей системы

****

Время наработки на отказ

*лет*.

Вероятность безотказной работы системы



Определим время, в течении которого система будет безотказно работать с вероятностью .



## 3.5. Конструктивное исполнение

Разработанное электронное устройство управления собирается на единой печатной плате. В зависимости от его мощностных характеристик необходимо выбрать материал подложки и толщину токонесущего слоя. Так как толщина токонесущего слоя зависит от суммарной мощности, потреб­ляемой элементами схемы, и является одним из критических размерных па­раметров, то произведём расчёт толщины фольги.

Примем ширину проводника питания равной 0.5мм (такая ширина не­обходима при разводке между ножками микросхемы). Определим толщину проводящего рисунка при максимальном токе 0.5А источника +5В (как наи­более нагруженного). Исходя из предельно-допустимой плотности тока в пе­чатном проводнике 

 (3.8)

где *W* - ширина проводника; *р* - максимальная плотность тока в проводнике; *Н* - толщина проводника.

Так как в процессе изготовления печатных плат толщина исходного металлизированного слоя увеличивается примерно в два раза, то минималь­ный слой меди должен быть 25 микрон. Зазор между проводниками принимаем равным 0.3мм. Для увеличения помехоустойчивости ширину проводников питания микросхем принимаем равной 2.5 мм. В качестве материала основания выбираем двухсторонний фольгированный стеклотекстолит СФ-2-35Г-1,5 толщиной 1,5мм и толщи­ной проводящего слоя 35мкм.

Печатная плата изготовлена с учетом следующих требований:

1. Расстояние между проводниками не менее *0.3 мм*

2. Диаметр переходных отверстий не менее *0.55 мм*

3. Диаметр отверстий для монтажа элементов *1.0 мм*

4. Все проводники должны быть покрыты сплавом Розе или залужены

5. По окончанию сборки плату промыть от остатков флюса в спирто-бензиновой смеси (бензин Б72 и изопропиловый спирт в соотношении 1:1)

6. После контроля функционирования поверхность платы покрыть слоем ла­ка ЭП-9114.УХП2.

7. Сушку лака осуществлять при температуре не более *60 °С*.

**4. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ СИСТЕМЫ**

## 4.1. Анализ производственных условий

Помещение цеха сахарного производства имеет ряд вредных факторов, оказывающих влияние на работающих в нем людей.

Вредные производственные факторы имеют место в основных цехах сахарного завода – в производственном и упаковочном цехах.

Рассмотрим влияние вредных производственных факторов на оператора, контролирующего автоматическое управление барабанной сушилкой пульпы (свекловичная стружка).

### 4.1.1. Микроклимат в помещении оператора

Параметры микроклимата могут меняться в широких пределах, в то время как необходимым условием жизнедеятельности человека является поддержание постоянства температуры тела благодаря свойству терморегуляции, т.е. способности организма регулировать отдачу тепла в окружающую среду.

Основной принцип нормирования микроклимата - создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой. В санитарных нормах СН-245/71 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения (значительные или незначительные тепловыделения).

Помещение оператора представляет собой отдельную комнату в здании цеха, длиной 6 *м*, шириной 4 *м* и высотой– 3.5 *м*. Помещение имеет два окна, расположенные на расстоянии 1,5 *м* друг от друга. План помещения, в котором располагается рабочее место оператора, приведен на рис. 4.1.

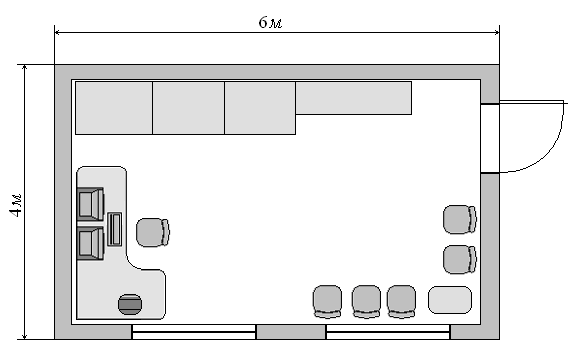


Рисунок 4.1– Расположение рабочего места оператора в помещении.

Рабочее место оператора представляет собой стол, с установленным на нем пультом управления, персональным компьютером и принтером для визуализации технологического процесса сушки сахарной стружки.

Установочная мощность оборудования, установленного в помещении оператора – 1,2 кВт.

Производственная пыль по ее дисперсности и способу образования относится к аэрозоли дезинтеграции. Норма запыленности в помещении, где установлена САУ барабанной сушилкой пульпы, составляет 7 *мг*/*м*3. Предусмотрена искусственная вентиляция с помощью канального вентилятора в шумоизолированном корпусе с регулируемыми жалюзи.

Для обеспечения в помещении температурного режима, необходимого для нормального функционирования электронного оборудования и создания комфортных условий работы оператора, установлен оконный кондиционер.

В помещении работает один человек оператор, в три смены, продолжительностью 8 часов каждая.

### 4.1.2. Уровень освещенности помещения оператора

Рациональное освещение рабочего места является одним из важнейших факторов, влияющих на эффективность трудовой деятельности человека, предупреждающих травматизм и профессиональные заболевания. Правильно организованное освещение создает благоприятные условия труда, повышает работоспособность и производительность труда. Освещение на рабочем месте оператора должно быть таким, чтобы работник мог без напряжения зрения выполнять свою работу.

Для организации благоприятных условий труда оператора в помещении используется искусственное и естественное освещение. Уровень освещенности регулируется в зависимости от точности выполняемых работ. Для искусственного освещения используются люминесцентные лампы дневного света (два светильника по две лампы ЛБ40-1). Светильники располагаются в одном ряду на расстоянии 3,5 *м*. Для естественного освещения в помещении оператора предусмотрены два окна, расположенные на одной стене с солнечной стороны на расстоянии 1.5 *м* друг от друга.

### 4.1.3. Шумоизоляция помещения оператора

Установлено, что шум ухудшает условия труда, оказывая вредное воздействие на организм человека. При длительном воздействии шума на человека происходят нежелательные явления: снижается острота зрения, слуха, повышается кровяное давление, понижается внимание. Сильный продолжительный шум может стать причиной функциональных изменений сердечно-сосудистой и нервной систем.

Согласно ГОСТ 12.1.003-88 ("Шум. Общие требования безопасности") характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются среднеквадратичные уровни давлений в октавных полосах частот со среднегеометрическими стандартными частотами: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 *Гц*. В этом ГОСТе указаны значения предельно допустимых уровней шума на рабочих местах предприятий. Для помещении конструкторских бюро, расчетчиков и программистов уровни шума не должны превышать соответственно: 71, 61, 54, 49, 45, 42, 40, 38 *дБ*. Эта совокупность восьми нормативных уровней звукового давления называется предельным спектром.

Строительно-акустические методы защиты от шума предусмотрены строительными нормами и правилами (СНиП-II-12-77).

К данным методом относятся:

– звукоизоляция ограждающих конструкции, уплотнение по периметру притворов окон и дверей;

– звукопоглощающие конструкции и экраны;

– глушители шума, звукопоглощающие облицовки.

Для обеспечения защиты от шума помещение оператора вынесено в отдельную комнату, а смежная с цехом стена является основной и играет роль естественной шумозащиты. Дверь, ведущая из помещения в цех, выполнена из металлопластика с применением шумоизоляционных технологий.

### 4.1.4. Электробезопасность помещения оператора

Причинами поражения электрическим током является соприкосновение с открытыми токоведущими частями и шинопроводами, а также с частями агрегатов, в которых нарушена изоляция. Для защиты от поражения электрическим током предусмотрены защитные устройства. Необходимо заземлить все металлические части оборудования, оградить механизмы, которые нахо­дятся под электрическим током. Так же для уменьшения вероятности пора­жения электрическим током необходимо полное соблюдение правил техники безопасности. Повышение электробезопасности достигается применением систем защитного заземления и зануления. Защитному заземлению или занулению подлежат металлические части электроустановок, доступные для прикосновения человека, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции. В данном здании соблюдены все нормы по электробезопасности, используются системы зануления. Опасность поражения электрическим током очень невысокая.

Оператора поразить электрическим током может в следующих случаях:

* при неправильно выполненном заземлении;
* при контакте с розеткой;
* при попадании токопроводящей жидкости на ЭВМ;
* при вмешательстве оператора во внутреннее устройство ЭВМ.

Для снижения статического электричества с оборудования, трубопроводов, коробов, на которых может возникнуть заряд, предусмотрено присоединение оборудования к заземляющему устройству производственного здания.

Все электрооборудование заземляется по ГОСТ 12.1.030-81.

### 4.1.5. Пожаробезопасность помещения оператора

Помещение оператора относится к категории «Г» СНиП 2.09.02-85. При строительстве помещения оператора учитывались показатели возгораемости используемых материалов.

По степени огнестойкости помещение оператора относится ко II степени СНиП 2.08.02-85. Это означает, что помещение оператора представляет собой здание с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых негорючих материалов.

В случае возникновения пожара в цеху предусмотрен противопожарный водопровод.

Пожарный гидрант расположен в помещении цеха на расстоянии 2,5м от двери в помещение оператора. Кроме этого, в помещении оператора находится один углекислотный огнетушитель ОУ-2.

## 4.2. Разработка мероприятий, снижающих воздействие выявленных вредных факторов

Все факторы, получившие оценку в предыдущем пункте и выше, считаются вредными и подлежат более детальному рассмотрению. В связи с этим, необходимо разработать мероприятия по компенсации либо устранению их негативного влияния.

Все мероприятия для снижения воздействия вредных факторов можно разбить на классы: организационные мероприятия, организационно-технические мероприятия и индивидуальные мероприятия [10].

Организационные мероприятия. К организационным мероприятиям относятся: выбор рациональных режимов работы оборудования, обеспечивающего уровень излучения, не превышающий предельно допустимый; ограничение места и времени нахождения персонала возле ЭВМ (защита расстоянием и временем), организация эффективных режимов работы включающих чередования труда и отдыха и т. п. К мерам профилактики организационного плана также следует отнести соблюдение режима труда и отдыха, запрещение сверхурочных работ.

Для более эффективной работы необходимо разработать собственную модель организации этой работы. Например, органично сочетать работу с перерывами для восстановления работоспособности.

Необходимо создать оптимальные условия для деятельности центральной нервной системы оператора. Нельзя полностью освободить разработчика от психо-эмоционального напряжения. Но необходимо повысить устойчивость адаптационных механизмов организма к стрессорам и упорядочить деятельность оператора. При этом целесообразно, с одной стороны, правильно использовать резервы организма, с другой – обнаружить отклонения и недостатки этих механизмов, чтобы вовремя их устранить.

Умеренная и постоянная производственная нагрузка поддерживает жизненный тонус и порождает положительные эмоции, препятствуя возникновению стресса. Нервное перенапряжение и невротические реакции чаще возникают у лиц, которые берутся за множество производственных дел одновременно, поэтому график работ оператора должен быть последовательным, но не монотонным.

Таким образом, существует много путей нейтрализации влияния хронического стресса на зарождение перенапряжения. Вместе с тем не следует забывать, что природа наделила организм человека способностью не только восстанавливать измененные функции, но и адаптироваться к трудным условиям труда и жизни. И здесь большую роль играют все психофизиологические резервы организма и необыкновенная пластичность центральной нервной системы человека.

Организационно-технические мероприятия. К организационно-техническим мероприятиям можно отнести различные мероприятия по снижению влияния вредных факторов в процессе работы при помощи различных технических средств. К организационным и техническим мероприятиям относятся: к работе допускают лиц не моложе 18 лет, прошедших медицинское освидетельствование, инструктаж и обучение безопасным методам труда, проверку знаний правил безопасности и инструкции в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе.

Индивидуальные мероприятия с целью уменьшения влияния хронического эмоционального стресса. Большое значение имеет характер отдыха: операторы подвержены развитию монотонности. Мероприятия, предупреждающие ее развитие, направлены на: повышение уровня активности центральной нервной системы, увеличение эмоционального тонуса и мотивации; обеспечение оптимальной информационной и двигательной нагрузок; устранение объективных факторов монотонного труда. Для этого в течение рабочего дня устанавливаются регламентированные перерывы. Продолжительность непрерывной работы с дисплеем без перерыва не должна превышать 2-х часов. После каждого часа работы делаются 5-10 минутные перерывы, при необходимости выполняется гимнастика.

Кроме этого рабочее место оператора удаляется на безопасное расстояние от объекта, благодаря этому ему не требуется каких-либо специфических средств защиты.

## 4.3. Системный анализ отказа работы системы

Проведем системный анализ разработки.

1. Определяем наиболее общий уровень, на котором должны быть рассмотрены все события, являющиеся нежелательными для нормальной работы рассматриваемой системы.

2. Разделяем события на несовместные группы, причем группы формируются по некоторым признакам, например, по одинаковым причинам возникновения.

.



Рисунок 4.1. ‑ Дерево отказов

3. Используя общие признаки, выделяем одно событие, к которому приводят все события каждой группы. Это событие является головным и будет рассматриваться с помощью отдельного «дерева» причин

4. Выбираем головное событие, которое должно быть предотвращено.

5. Определяем все первичные и вторичные события, которые могут вызвать головное событие.

6. Определяем отношения между вызывающими и головными событиями в терминах логических операций «И» и «ИЛИ».

7. Определяем величины, необходимые для дальнейшего анализа каждого из событий, выделенных на этапе 2 и 3. Для каждого вызывающего события, которое уточняется далее, повторяем этапы 2 и 3, причем термин «головное событие» теперь будет относиться к данному событию, которое продолжаем анализировать.

8. Продолжаем этапы 2, 3 и 4 пока либо все события не выразятся через основные события, либо перестаем дробить анализ дальше в силу незначительности событий, отсутствия данных и т.д.

9. Представляем события в виде диаграммы, используя логическую символику.

На рисунке 5.1. показано «дерево» причин для головного события «Отказ системы».

## 4.4 Экологичность работы

Компьютерная техника, которая используется в работе, может оказывать вредные воздействия на человека. Важно предусмотреть все меры, которые помогут уменьшить вредное влияние компьютера на человека.

Вопросы ресурсосбережения относятся как к материальным ресурсам, так и к энергетическим. Используемый в ходе работы ЭВМ потребляет электричество, при выработке которого наносится вред окружающей среде. Поэтому необходимо свести потери энергии к минимуму, используя энергосберегающие технологии. Кроме того, можно перевести ЭВМ в спорадический режим функционирования. Это такой режим, при котором основную часть времени ЭВМ находится в дежурном энергосберегающем режиме (или отключен). При возникновении задачи, требующей решения, он переводится в рабочее состояние. После решения задачи осуществляется обратный переход в дежурный режим. Кроме этого энергия потребляется самим разработчиком на освещение рабочего места. Здесь можно использовать энергосберегающие лампы, а также вести работу, преимущественно ограничиваясь дневным светом.

Таким образом, соблюдение выработанных рекомендаций по организации труда и обеспечению экологичности, обеспечат оператору ЭВМ безопасную работу.

# 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Технико-экономическое обоснование создается для:

* обычно технико-экономическое обоснование или ТЭО пишется для проектов внедрения новых технологий, процессов и оборудования на уже существующем, работающем предприятии, поэтому анализ рынка, маркетинговая стратегия, описание компании и продукта, а также анализ рисков в нем часто просто отсутствуют;
* в технико-экономическом обосновании приводится информация о причинах выбора предлагаемых технологий и процессов и решений, принятых в проекте, результаты от их внедрения и экономические расчеты эффективности;

Технико-экономическое обоснование проекта включает в себя:

* общее резюме по проекту;
* описание потребности в увеличении мощностей производства, смены технологии или схемы производства;
* обоснование выбора технологии, оборудования, схемы производства, строительные решения;
* расчеты потребностей производства в сырье, материалах, энергетических и трудовых ресурсах;
* экономические расчеты по предлагаемому проекту;
* выводы и предложения, в которых дается общая оценка экономической целесообразности и перспектив от внедрения проекта.

Технико-экономическое обоснование и является основным документом, обосновывающим целесообразность и эффективность предлагаемого проекта. В ТЭО детализируются и учитываются решения, принятые на стадии предпроектных разработок, определяются источники финансирования проекта. Источники финансирования могут быть определены как инвестиционные вложения - за счет средств инвесторов, в том числе государственного бюджета; в виде капитальных вложений, суммой, которой является объединение средств заказчика, собственных финансовых ресурсов предприятия, и заемных и привлеченных финансовых средств заинтересованных лиц.

К основным показателям технико-экономического обоснования относят:

1. определение стоимости товарной продукции (ценообразование);
2. определение количества рабочих мест и расчет специалистов необходимой квалификации;
3. определение общей сметной стоимости проекта, в том числе стоимости основных фондов и материальных ресурсов;
4. определение сроков внедрения проекта;
5. определение суммы необходимых капитальных вложений;
6. расчет себестоимости основных видов продукции;
7. определение балансовой и чистой прибыли;
8. внутренние нормы рентабельности

, (5.1)

где  – прибыль;

*К* – капитальные вложения;

1. определение срока окупаемости капиталовложений.

Для оценки экономической эффективности часто используется метод срока окупаемости, который заключается в расчете срока, который понадобится для возмещения суммы первоначальных инвестиций. Срок окупаемости проекта рассчитывается по формуле

*Срок окупаемости =* . (5.2)

К достоинствам метода относят:

* простота расчета;
* простота для понимания и традиции применения;
* соответствие общепринятым методам бухучета и, как следствие, доступность исходной информации.

Недостатки метода заключаются в:

* привязке к данным бухгалтерского учета данным;
* не учитывает какую выгоду проекта за пределами срока окупаемости;
* не учитывается альтернативная стоимость используемых для ресурсов;
* неаддитивности (окупаемость проекта неравна сумме окупаемости его этапов).

## 5.1. Резюме проекта

В данном проекте производится модернизация системы автоматического управления барабанной сушилкой пульпы (свекловичной стружки). Пульпа – побочный продукт производства сахара. Она является ценным сельскохозяйственным продуктом и широко применяется для кормления скота. Процесс проектирования системы автоматического управления включает в себя три этапа:

– подготовительный;

– расчетный (аналитический);

– внедрения системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки.

Продолжительность процесса проектирования системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки составляет 58 дней.

Календарный график выполнения проектировочных работ приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1– Календарный график выполнения проектировочных работ

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Этап проектирования | Ответственные | Затраты в человеко-днях | Март | | | | Апрель | | | | Май | | | |
| **I этап** |  |  | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| разработка ТЗ | гл. инженер | 3 | 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| инженер | 3 | 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| согласование ТЗ | гл. инженер | 2 | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| инженер | 2 | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| утверждение ТЗ | гл. инженер | 1 |  | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| инженер | 1 |  | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Итого на этап** | **гл. инженер** | **6** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **инженер** | **6** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **II этап** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Исследование объекта управления | гл. инженер | 2 |  | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| инженер | 8 |  | 3 | 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **II этап** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Построение ММ ОУ | гл. инженер | 2 |  |  |  |  | 2 |  |  |  |  |  |  |  |
| инженер | 10 |  |  |  | 5 | 5 |  |  |  |  |  |  |  |
| Разработка алгоритмов управления | гл. инженер | 5 |  |  |  |  |  | 5 |  |  |  |  |  |  |
| инженер | 9 |  |  |  |  |  | 5 | 4 |  |  |  |  |  |
| Синтез закона управления | гл. инженер | 1 |  |  |  |  |  |  | 1 |  |  |  |  |  |
| инженер | 4 |  |  |  |  |  |  | 1 | 3 |  |  |  |  |
| Моделирование СУ | Гл. инженер | 2 |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  |  |
| инженер | 4 |  |  |  |  |  |  |  | 2 | 2 |  |  |  |
| Выбор контроллера | гл. инженер | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  |
| инженер | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  |
| **Итого на этап** | **гл. инженер** | **14** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **инженер** | **37** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **III этап** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Оформление документации | гл. инженер | 3 |  |  |  |  |  |  |  |  | 3 |  |  |  |
| инженер | 3 |  |  |  |  |  |  |  |  | 3 |  |  |  |
| Реализация САУ | гл. инженер | 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 2 |  |  |
| инженер | 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 5 |  |  |
| Слесарь КИПиА | 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4 |  |
| Оператор | 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 5 |  |
| Внедрение и наладка оборудования |  | | | | | | | | | | | | | |
| гл. инженер | 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 1 |  |
| инженер | 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 5 | 2 |
| Слесарь КИПиА | 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4 |  |
| Оператор | 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 3 |
| монтажник | 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 4 |  |
| **Итого на этап** | **гл. инженер** | **6** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **инженер** | **15** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Слесарь КИПиА** | **8** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Оператор** | **8** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **монтажник** | **4** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Таким образом суммарные затраты времени на проектирование системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки с учетом таблицы 5.1 приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Затраты времени на проектирование

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Ответственные за проектирование | Количество дней | Количество человек | Общая трудоемкость |
| 1 | Гл. инженер | 26 | 1 | 26 |
| 2 | Инженер | 58 | 1 | 58 |
| 3 | Слесарь КИПиА | 8 | 2 | 16 |
| 4 | Оператор | 8 | 3 | 24 |
| 5 | Монтажник | 4 | 4 | 16 |
| 6 | Обслуживающий персонал | 58 | 1 | 58 |

## 

## 5.2. Расчёт основной заработной платы

К этой статье относятся основная заработная плата работников, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчёт основной заработной платы выполняется на основе трудоёмкости выполнения каждого этапа в человеко-днях и величины месячного должностного оклада исполнителя.

Среднее количество рабочих дней в месяце равно 22. Следовательно, дневная заработная плата определяется делением размера оклада на количество рабочих дней в месяце.

Трудоемкость определяется следующим образом: по таблицам 5.1 и 5.2 находится количество дней, которое необходимо потратить на каждый из трёх этапов разработки.

Произведение трудоемкости на сумму дневной заработной платы определяет затраты по зарплате для каждого работника на все время разработки.

Расчет основной заработной платы по теме приведен в таблице 4.3.

Таблица 5.3 – Расчет основной заработной платы

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Исполнитель | Количество чел. | Трудоемкость | Оклад, руб. | Дневная зар. плата (руб.) | Затраты по  зар. плате  ( руб.) |
| 1 | Гл. инженер | 1 | 26 | 18000 | 818,18 | 21272,72 |
| 2 | Инженер | 1 | 58 | 11600 | 527,27 | 30581,82 |
| 3 | Слесарь КИПиА | 2 | 16 | 9200 | 418,18 | 6690,91 |
| 4 | Монтажник | 4 | 24 | 10000 | 454,55 | 10910,0 |
| 5 | Обслуживающий персонал | 1 | 58 | 8600 | 391,0 | 22672,72 |
| 7 | Оператор | 3 | 24 | 8750 | 397,73 | 9545,45 |
| **Итого** | |  |  |  |  | **101673,6** |

## 5.3. Расчет дополнительной заработной платы

На эту статью относятся выплаты, предусмотренные законодательством о труде за неотработанное по уважительным причинам время: оплата очередных и дополнительных отпусков и т.п. (принимается в размере 20% от суммы основной заработной платы):

101673,63\*0.2=20334,72 руб.

## 5.4. Расчёт отчислений на социальные нужды

Затраты по этой статье определяются в процентном отношении от суммы основной и дополнительной заработной платы (30,2%):

(101673,6+ 20334,72)\* 0.302=36846,4 руб.

Таким образом, затраты по заработной плате с учетом единого социального налога рассчитываются по формуле

*ЗЗпл = Осн. З.пл. + Доп. З.пл. + ЕСН*, (5.3)

где *Осн. З.пл. –* основная заработная плата; *Доп. З.пл. –* дополнительная заработная плата; *ЕСН –* отчисления на социальные нужды (единый социальный налог - 30,2%).

*ЗЗпл*  = 101673,6+ 20334,72+ 36846,4 = 158854,7 руб.

## 5.5. Расчет стоимости оборудования

Для расчета стоимости оборудования воспользуемся данными из таблицы 5.4. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам. В стоимость материальных затрат включаются транспортные расходы (20 % от прейскурантной цены).

Таблица 5.4 – Расчет стоимости оборудования

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование | Количество, шт. | Цена за единицу, руб. | Цена | Ставка амортизации | Амортизационные отчисления |
| 1. | Датчики |  |  |  |  |  |
| 1.1. | Датчик влажности | 4 | 48700 | 194800 | 12,5 | 24350 |
| 1.2. | Датчик температуры | 2 | 23800 | 47600 | 12,5 | 5950 |
| 1.3. | Датчик расхода топлива | 3 | 86200 | 258600 | 12,5 | 32325 |
| 2. | Персональный компьютер | 1 | 27000 | 27000 | 12,5 | 3375 |
| 3. | Кабель | 140 | 12 | 1680 | 12,5 | 260 |
| 4. | Микроконтроллер | 1 | 374862 | 374862 | 18 | 67475,16 |
| 5. | Пульт управления | 1 | 286400 | 286400 | 17 | 48688 |
|  | **ИТОГО на оборудование** |  |  | **1190942** |  |  |
| 6. | Дополнительные расходы |  |  | 343680 |  |  |
| 7. | Транспортные расходы |  |  | 238188,4 |  |  |
|  | **Итого** |  |  | **5142810,4** |  | **182373,16** |

Транспортные расходы на перевозку оборудования составляют:

1190942 \*0.2 = 238188,4 (руб.)

С учётом транспортных расходов затраты на приобретение оборудования:

1190942 \*1.2 = 1429130,4 (руб.)

Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле:

 (5.4)

где *A* – cумма амортизационных отчислений;

*Спп*– полная первоначальная стоимость оборудования;

*Н*о – норма амортизационных отчислений;

*Тком*– общее количество рабочих дней в году;

*Тр* – количество дней эксплуатации оборудования.

 руб.

## 5.6. Оценка эффективности проекта

Для оценки эффективности разработанной системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки необходимо произвести ее сравнение с ранее существовавшей на производстве системы управления. Для этой цели возьмем за отчетный период год. Затраты по заработной плате существовавшей СУ барабанной сушилкой свекловичной стружки за год приведены в таблице 5.5, а затраты на заработную плату модернизированной САУ приведены в таблице 5.6.

Расчет дополнительной заработной платы производится по формуле:

*З.пл.доп* = *З.пл.осн*·0,2. (5.5)

Расчет суммы отчислений на социальные службы производится по формуле

*Отчисления на соц.нужды* = (*З.пл.доп + З.пл.осн*)·0,302. (5.6)

Годовая заработная плата и годовые отчисления на социальные службы рассчитываются по формулам:

*З.пл.доп* = *З.пл.осн*·0,2·12. (5.7)

*Отчисления на соц.нужды* = (*З.пл.доп + З.пл.осн*)·0,302·12. (5.8)

Таблица 5.5 – Затраты по заработной плате для системы управления до модернизации

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | | Исполнитель | Количество чел. | Оклад, руб. | Затраты по  зар. плате  ( руб.) |
| 1 | | Инженер | 2 | 11600 | 23200 |
| 2 | | Слесарь КИПиА | 10 | 9200 | 92000 |
| 3 | | Обслуживающий персонал | 6 | 8600 | 51600 |
| 4 | | Оператор | 24 | 8750 | 210000 |
| 5 | Итого основная заработная плата в месяц | |  |  | **376800** |
| 6 | Итого основная заработная плата за год | |  |  | **4521600** |
| 7 | Дополнительная заработная плата в месяц | |  |  | **75360** |
| 8 | Дополнительная заработная плата за год | |  |  | **904320** |
| 9 | Отчисления на соц. нужды за месяц | |  |  | **113793** |
| 10 | Отчисления на соц. нужды за год | |  |  | **1365523** |
| **ИТОГО затраты на заработную плата за год** | | |  |  | **5425920** |

Затраты по производственному персоналу до модернизации системы управления составили 5425920 руб.

а)

б)

Рисунок 5.1– Сравнительный анализ затрат по заработной плате на производственный персонал: а) до модернизации системы управления; б) после модернизации системы управления.

Сравнивая данные этих таблиц видно, что до момента модернизации системы управления затраты по заработной плате были значительно выше, чем после модернизации. Это связано с тем, что разработанная система управления является полностью автоматической и для ее обслуживания достаточно одного оператора, в обязанности которого входит наблюдение за ходом производственного процесса. Также разработанная система является более надежной и затраты на ремонт также снижаются. Затраты на ремонт системы управления до модернизации составляли 427300 руб., а после модернизации – 243800 руб.

Таблица 5.6 – Затраты по заработной плате для системы управления после модернизации

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | | Исполнитель | Количество чел. | Оклад, руб. | Затраты по  зар. плате  ( руб.) |
| 1 | | Инженер | 2 | 11600 | 23200 |
| 2 | | Слесарь КИПиА | 6 | 9200 | 55200 |
| 3 | | Обслуживающий персонал | 3 | 8600 | 25800 |
| 4 | | Оператор | 8 | 8750 | 70000 |
| 5 | Итого основная заработная плата в месяц | |  |  | **174200** |
| 6 | Итого основная заработная плата за год | |  |  | **2090400** |
| 7 | Дополнительная заработная плата в месяц | |  |  | **34840** |
| 8 | Дополнительная заработная плата за год | |  |  | **418080** |
| 9 | Отчисления на соц. нужды за месяц | |  |  | **52608** |
| 10 | Отчисления на соц. нужды за год | |  |  | **631600** |
| **ИТОГО затраты на заработную плата за год** | | |  |  | **2508480** |

Затраты по производственному персоналу после модернизации системы управления составили 2508480 руб.

При расчете себестоимости проектировочных работ необходимо учесть затраты на заработную плату проектировочных работ, стоимости оборудования с учетом транспортных затрат, а также годовые затраты на заработную плату после внедрения системы автоматического управления.

Расчет себестоимости системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки приведен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Расчет себестоимости системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Наименование статьи расхода** | **Затраты (в руб.)** |
| 1. | Оборудование | 1190942 |
| 2. | Транспортные расходы | 238188,4 |
| 3. | Дополнительные расходы | 343680 |
| 4. | ЕСН | 631600 |
| 5. | Основная заработная плата | 2090400 |
| 6. | Дополнительная заработная плата | 418080 |
| 7. | Проектные расходы | 153663,23 |
| 8. | Ремонт | 243800 |
| 9. | Амортизация | 182373,16 |
| **ИТОГО:** | | **5492727** |

Прибыль от внедрения разработанной системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки заключается в экономии на затратах по заработной плате, за счет сокращения штата сотрудников и на плановый ремонт системы управления, вследствие повышения надежности разработанной САУ.

Таким образом, расчет прибыли будем производить по формуле:

*Пр* = *З.пл*.1 – *З.пл.*2. + *Зрем*.1 – *Зрем*.2, (5.9)

где *З.пл*.1 – годовые затраты на заработную плату для системы управления до модернизации;

*З.пл.*2. – годовые затраты на заработную плату для системы управления после модернизации;

*Зрем*.1 – затраты на ремонт для системы управления до модернизации;

*Зрем*.2 – затраты на ремонт для системы управления после модернизации.

Таким образом, с учетом данных таблиц 5.5, 5.6 по формуле (5.9) получаем:

*Пр* = 5425920– 2508480 + 427300 – 243800 = 3152730 руб.

Для оценки эффективности проекта используя показатель срока окупаемости. Для этого, подставляя в формулу (5.2), значения себестоимости разработки и величину прибыли получаем

Срок окупаемости = г.

**5.7. Вывод по эффективности**

В результате проведения технико–экономического анализа были рассмотрены следующие вопросы:

* 1. Расчет стоимости разработки;
  2. Экономическая эффективность разработки.

Время разработки системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки составляет 58 рабочих дней или 2,5 месяца со средним значением рабочих дней в месяце равным 22.

Расчет произведен в ценах 2016-2017гг.

В ходе проведенного технико-экономического анализа были рассчитаны:

– срок окупаемости системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки после внедрения на заводе составляет   
1,74 года;

– величина прибыли составляет 3152730 руб.;

– себестоимость системы автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки с учетом затрат на эксплуатацию в течение года составляет 5492727 руб.;

– себестоимость проектных работ составляет 153663,23руб. (затраты по заработной плате);

Анализ данных показателей показывает, что разработанная система автоматического управления барабанной сушилкой свекловичной стружки выгодна и быстро окупается после внедрения.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалифицированной работе разработана система автоматического управления барабанной сушилкой пульпы (свекловичная стружка – побочный продукт производства сахара). Особенностью барабанной сушилки как объекта автоматизации является сложность ее динамических характеристик (запаздывания, большое время установления и т.д.). В результате ручное управление является крайне неэффективным, ведет к перерасходу топлива и плохому качеству пульпы. Поэтому в данном проекте предложена автоматизированная система управления сушилкой в режиме непосредственного цифрового управления. При проектировании данной системы использовались методы идентификации математической модели по разгонным характеристикам.

Помимо вывода математической модели проводится краткое описание технологического процесса сушки пульпы, отдельно рассмотрены функции и требования предъявляемые к САУ. В данном проекте рассмотрены алгоритмы первичной обработки сигналов аналогового входа и проведен синтез модального управления с редуцированным наблюдателем состояния. Проведено моделирование как непрерывной, так и цифроуправляемой системы, определена оптимальная частота выдачи управляющего воздействия.

Особенностью ВКР является то, что предлагаемая система автоматического управления реализована на техническом уровне с помощью датчиков и исполнительных механизмов, также проводится оценка разрядности АЦП и микроконтроллера, разработана принципиальная схема системы. При этом проводится разработка схемы размещения элементов и разводка печатной платы.

Предложенная автоматизированная система управления барабанной сушилкой пульпы в режиме непосредственного цифрового управления является более эффективной по сравнению с системой ручного управления, так как ее использование не приводит к перерасходу топлива и плохому качеству пульпы.

# ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Гайдук А. Р. Алгебраические методы анализа и синтеза систем автоматического управления. - Издательство Ростовского университета, 1988, 208с.
2. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. "Электроника: Учебное пособие для приборостроительных специальностей вузов. - 2-е издание переработанное и дополненное. - М.: Высшая школа. 1991.-622с.
3. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графиче­ские в схемах. Обозначения общего применения. ГОСТ 2.721-74.
4. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. - М.: Мир, 1984. - 541 с, ил.
5. Микропроцессорные средства и системы. Алексеенко А.Г. и др.; - М: Радио и связь, 1987.-96 с: ил.-№3.
6. Петров И.К. Курсовое и дипломное проектирование по автоматизации производст­венных процессов.
7. Пъявченко Т.А. Автоматизированные управления технологическими процессами и техническими объектами. Учебное пособие.
8. Пъявченко Т.А. Учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта по дисциплинам «Автоматизированное управление в технических системах», «Проекти­рование микропроцессорных систем промышленной электроники».
9. Тарабин Б.В., Якубовский С.В. и др.; Справочник по интегральным микросхема - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергия, 1081. - 816 с, ил.
10. Сербулова Т.Н. Методические указания к выполнению раздела "Безопасность и эклогичность" к выпускной квалификационной работе, Кисловодск, издательство КГТИ 2015, стр.16.