

**В.Н.СУРИКОВ, И.Б.МАЛЮТИН, Н.П.СЕРЕБРЯКОВ**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

**Учебно-методическое пособие  
по дипломному проектированию**

**Санкт-Петербург  
2011**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ  
ПОЛИМЕРОВ

---

*80-летию СПбГТУРП посвящается*

**В. Н. Суриков, И. Б. Малютин, Н. П. Серебряков**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
И ПРОИЗВОДСТВ**

**Учебно-методическое пособие  
по дипломному проектированию**

Санкт-Петербург  
2011

ББК 32.965я7  
С 239  
УДК 676.05(075)

**Суриков В.Н., Малютин И.Б., Серебряков Н.П.** АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ: учебно-методическое пособие по дипломному проектированию / СПбГТУРП. - СПб., 2011. – 66 с.

В настоящем учебно-методическом пособии изложены цели, содержание и правила оформления дипломных проектов по автоматизации технологических процессов и производств.

По сравнению с предыдущим изданием (Суриков В.Н., Малютин И.Б., Серебряков Н.П. и др. Автоматизация промышленных теплотехнических процессов и производств: методические указания по дипломному проектированию / СПбГТУРП. - СПб., 2002) - в настоящем пособии более подробно рассмотрены основные разделы дипломных проектов, а также вопросы организации преддипломной практики студентов.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов всех форм обучения по специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств ЦБП».

Рецензенты:

генеральный директор ОАО «Водоканал - инжиниринг»,  
д-р техн. наук В.И. Терентьев;  
зав. кафедрой информационно – измерительных технологий и систем  
управления СПбГТУРП, д-р техн. наук, проф. Г.А. Кондрашкова.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
университета в качестве учебно-методического пособия.

Редактор и корректор Н. П. Новикова  
Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2011 г., поз.59

Подп. к печати 09.11.11 . Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.  
Печать офсетная. Уч.-изд.л. 4,25. Усл.печ.л. 4,25. Тираж 200 экз.  
Изд. № 59. Цена «С». Заказ

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического  
университета растительных полимеров, 198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© Суриков В.Н., Малютин И.Б.,  
Серебряков Н.П., 2011  
© ФГБОУВПО Санкт-Петербургский  
государственный технологический университет  
растительных полимеров, 2011

## ВВЕДЕНИЕ

Дипломное проектирование является важнейшим и завершающим этапом учебного процесса, в котором используются все знания, полученные в период обучения.

Настоящее пособие определяет содержание и правила оформления как дипломных проектов, так и дипломных работ, а также отчета о преддипломной практики.

Дипломный проект – комплексная самостоятельная работа студента, главной целью и содержанием которой является проектирование современных автоматизированных систем управления технологическими процессами и производствами, удовлетворяющих требованиям безопасности, экологии и экономической эффективности.

Дипломная работа – комплексная самостоятельная работа студента, главной целью и содержанием которой является всесторонний анализ и исследования технологических процессов и производств как объектов автоматизации, а также систем управления ими.

Целью дипломных проектов является модернизация существующих систем автоматизации на основе их глубокого изучения и анализа, обоснование необходимости их улучшения, разработка, и проектирование отдельных элементов рабочей документации проектов.

Целью дипломных работ является исследование объектов и систем управления, разработка программного обеспечения отдельных подсистем АСУ, а также лабораторных стендов и учебно-методического обеспечения лабораторных работ.

## 1. ТЕМАТИКА ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТОВ

Тематика дипломного проектирования имеет следующие основные направления:

1. Разработка новых АСУ технологическими процессами.
2. Модернизация действующих систем автоматизации и АСУТП.
3. Комплексная автоматизация технологических процессов и производств.
4. Повышение эффективности управления технологическими процессами и производствами.
5. Научно-исследовательские и проектно-конструкторские разработки по заданию промышленности.

Тема дипломного проекта выдаётся перед преддипломной практикой. Одновременно назначается руководитель дипломного проекта, который выдаёт задание на дипломный проект. Тема дипломного проекта утверждается приказом по университету.

## 2. СОСТАВ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Дипломный проект состоит из текстовой и графической частей.

Объём текстовой части дипломного проекта – до 100 страниц машинописного текста на писчей бумаге формата А4 (210x297 мм).

Графическая часть проекта включает 9-10 листов формата А1 (594x841 мм).

## 3. СОДЕРЖАНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

В настоящем пособии рассматриваются основные разделы типового дипломного проекта, посвященного разработке АСУТП.

По согласованию с заведующим кафедрой АТП и П структура дипломного проекта может быть изменена с учетом задания на дипломное проектирование.

Текстовая часть типового дипломного проекта имеет следующую структуру:

1. Титульный лист (Приложение 1).
2. Задание на дипломный проект (Приложение 2).
3. Ведомость проекта (Приложение 3).
4. Реферат (Приложение 4).
5. Пояснительная записка, в составе:
  - 5.1. содержание;
  - 5.2. введение;
  - 5.3. основная часть (в тексте не выделяется, содержание см. ниже);
  - 5.4. заключение;

5.5. перечень сокращений, условных обозначений, символов, единиц и терминов;

5.6. список использованных источников;

5.7. приложения.

Введение должно содержать оценку современного состояния уровня автоматизации рассматриваемого объекта, основания и исходные данные для разработки темы.

Во введении должны быть показаны актуальность и новизна темы.

Основная часть. В ней необходимо описать все детали проведенного исследования, а также расчеты, графики и диаграммы, соответствующие направленности работы.

Содержание основной части дипломного проекта определяется руководителем проекта и указывается в задании.

Задание на дипломный проект утверждается заведующим кафедрой АТП и П.

Основная часть пояснительной записки состоит из следующих разделов:

1. Описание и анализ объекта автоматизации.
2. Техничко-экономическое обоснование разрабатываемой АСУТП.
3. Выбор и разработка системы автоматического управления параметром.
4. Расчёт и анализ системы автоматического управления параметром.
5. Проектирование АСУТП.
6. Безопасность объекта.
7. Экономика.

Требования к содержанию разделов основной части пояснительной записки представлены ниже.

### **3.1. Описание и анализ объекта автоматизации (раздел 1 основной части)**

Этот раздел состоит из следующих подразделов:

3.1.1. Техническая характеристика объекта автоматизации.

3.1.2. Описание технологического процесса и основного оборудования.

3.1.3. Анализ технологического процесса как объекта автоматизации.

#### ***3.1.1. Техническая характеристика объекта автоматизации***

Объекты автоматизации могут быть технологическими, энергетическими, энерготехнологическими и др.

В этом подразделе необходимо указать техническое название объекта автоматизации и его назначение, основные технические параметры объекта, характеристики сырья, топлива, основного продукта и его назначение, сертификат на готовую продукцию.

### ***3.1.2. Описание технологического процесса и основного оборудования***

В этом подразделе необходимо представить схему технологического процесса и его описание, технологический регламент, режимную карту, технические условия, а также основные технико-экономические показатели.

При описании основного оборудования должны быть представлены сведения о его назначении, конструктивных особенностях, технических характеристиках и параметрах, а также принципиальные или конструктивные схемы.

Так, например, если объектом автоматизации является паровой котёл, необходимо дать описание котельного агрегата и его элементов (топочная камера, барабан, пароперегреватель, водяной экономайзер, воздухоподогреватель, горелка, дымосос, вентилятор и др.).

Схема технологического процесса должна быть представлена в виде рисунка.

### ***3.1.3. Анализ технологического процесса как объекта автоматизации***

В этом подразделе весь технологический процесс следует разбить на ряд участков и рассмотреть их свойства с точки зрения управления, представить перечень систем автоматического управления (САУ) технологическим процессом и показать влияние технологических режимов на работу САУ.

Здесь также следует представить таблицу необходимых контролируемых технологических параметров и показателей продукции, указать диапазоны изменения и измерения параметров, способы измерения (автоматический или лабораторный), точность и периодичность (при лабораторном способе) измерения, указать, где и как используется полученная информация.

В этом подразделе необходимо показать возможности существующих САУ для обеспечения контроля и стабилизации технологических режимов объекта.

## **3.2. Технико-экономическое обоснование разрабатываемой АСУТП (раздел 2 основной части)**

Этот раздел состоит из следующих подразделов:

3.2.1. Описание и анализ существующей системы управления.

3.2.2. Разработка технических требований к АСУТП.

3.2.3. Выбор и обоснование предлагаемой системы автоматизации.

### **3.2.1. Описание и анализ существующей системы управления**

В случае реализации существующей на производстве системы управления на базе локальных или централизованных средств автоматики (системы СТАРТ, АКЭСП, КАСКАД, КОНТУР и др.) следует рассматривать и анализировать системы контроля и управления (СКУ) или системы автоматического управления (САУ) технологическим процессом. Если существующая система управления реализована на базе средств управляющей вычислительной техники (контроллеры, операторские и инженерные станции), то следует рассматривать и анализировать АСУТП.

В этом подразделе необходимо:

- дать общее описание существующей системы управления и указать ее преимущества и недостатки;
- перечислить существующие контуры САУ и представить их функциональные схемы;
- охарактеризовать структуру каждой САУ (одноконтурная, каскадная, взаимосвязанная и т.д.) и указать их преимущества и недостатки в обеспечении требований технологического регламента;
- проанализировать качество управления одной из существующих САУ с учетом требований, предъявляемых сертификатом продукции, технологическим регламентом, режимной картой или ТУ.

В случае рассмотрения АСУТП дополнительно необходимо описать и проанализировать её техническое, информационное, математическое и программное обеспечение.

В заключение следует сделать вывод о необходимости замены или модернизации существующей системы управления.

### **3.2.2. Разработка технических требований к АСУТП**

Технические требования к автоматизированной системе управления являются основным техническим документом на разработку АСУТП, на основе которого разрабатывается техническое задание на создание АСУТП в соответствии ГОСТ 34.602-89.

В этом подразделе необходимо сформулировать следующие требования к АСУТП: требования к системе в целом, требования к функциям системы, требования к видам обеспечения.

В требованиях к системе в целом указываются требования к структуре и функционированию системы (требования к числу уровней управления и степени централизации системы, требования к надежности системы и другие дополнительные требования с учетом особенностей технологического процесса).

В требованиях к функциям системы приводят перечень функций, подлежащих автоматизации, и требования по качеству реализации функций.

Функции АСУТП подразделяются на информационные, управляющие и вспомогательные.

Информационная функция АСУТП – это функция системы, содержанием которой является сбор, обработка и представление информации о состоянии технологического процесса оперативному персоналу или передача этой информации для последующей обработки.

Управляющая функция АСУТП – это функция, результатом которой является выработка и реализация управляющих воздействий на технологический процесс. К управляющим функциям АСУТП относятся:

- формирование и передача на исполнительные устройства управляющих сигналов;
- определение рационального режима технологического процесса;
- выдача оператору рекомендаций по управлению технологическим процессом.

Вспомогательные функции АСУТП – это функции, обеспечивающие решение внутренних задач. Вспомогательные функции системы предназначены, прежде всего, для обеспечения собственного функционирования АСУТП (обеспечение заданного алгоритма функционирования технических средств системы, контроль их состояния, хранение информации и т.п.).

При разработке требований к видам обеспечения приводятся требования к математическому, информационному, организационному, программному, метрологическому и другим видам обеспечения АСУТП.

Обязательным приложением к техническим требованиям АСУТП являются:

- перечень технологических измерений, контуров регулирования, сигнализации и защиты;
- алгоритмы управления технологическим процессом и оборудованием.

### ***3.2.3. Выбор и обоснование предлагаемой системы автоматизации***

В этом подразделе необходимо сформулировать и обосновать принципиальные решения по модернизации существующей или созданию новой АСУТП.

Основными направлениями совершенствования существующей АСУТП являются следующие:

1. Замена старых приборов и средств автоматизации.
2. Установка дополнительных новых приборов и средств автоматизации.
3. Применение новых способов управления.
4. Применение современных программно-технических комплексов (ПТК).
5. Переход на новый, более высокий уровень автоматизации.

6. Совершенствование информационного обеспечения.

7. Совершенствование программного обеспечения.

Для экономической оценки предлагаемых вариантов АСУТП необходимо разработать таблицы входных и выходных сигналов, используемых в АСУТП.

Используя эти таблицы, требуется далее оценить стоимость вариантов АСУТП на основе информации о функциях и количестве сигналов АСУТП.

Для каждого из предлагаемых вариантов АСУТП показать ориентировочное снижение эксплуатационных расходов на сырье, топливо, химикаты, электроэнергию, тепло, воду и пр., а также снижение ущерба от загрязнения окружающей среды в результате внедрения АСУТП.

Далее в этом подразделе должен быть проведён сравнительный технико-экономический анализ двух возможных вариантов построения АСУТП, на основе которого выбирается вариант АСУТП, разрабатываемый в дипломном проекте.

### **3.3. Выбор и разработка системы автоматического управления параметром (раздел 3 основной части)**

Этот раздел состоит из следующих подразделов:

3.3.1. Обоснование и выбор разрабатываемой САУ

3.3.2. Обоснование требований к САУ.

3.3.3. Выбор способа управления параметром.

3.3.4. Выбор и расчёт технических средств САУ.

#### ***3.3.1. Обоснование и выбор разрабатываемой САУ***

В данном подразделе в соответствии с темой дипломного проекта необходимо представить назначение данного параметра в технологическом процессе и определить его влияние на другие параметры и качество готовой продукции.

Необходимо охарактеризовать влияние рассматриваемого параметра на технико-экономические характеристики объекта (удельные расходы сырья, энергии, химикатов, пара, воды и др.) и показатели качества готовой продукции.

Обосновать целесообразность модернизации существующей или разработки новой САУ технологическим параметром для предприятия, а также принципиальное решение по АСУТП.

#### ***3.3.2. Обоснование требований к САУ***

В этом подразделе необходимо проанализировать изменение регулируемого или управляемого параметра при работе существующей системы управления на предприятии и сделать заключение о соответствии

САР или САУ параметром требованиям регламента технологического процесса и заданной точности управления.

В качестве исходных данных могут быть использованы тренды параметра, диаграммы, данные лабораторных анализов и сменных журналов и др.

Должны быть обоснованы основные требования к показателям качества процесса управления разрабатываемой САУ (требования к запасу устойчивости САУ, точности ее работы в установившемся и переходном режимах, перерегулированию и быстродействию системы) и требования к техническим средствам системы управления. При выборе показателей качества процесса управления необходимо учитывать особенности технологического процесса и требования к показателям качества продукции.

### ***3.3.3. Выбор способа управления параметром***

В этом подразделе, в соответствии с темой дипломного проекта, необходимо выбрать известный или разработать новый способ управления технологическим параметром на основе информационного и патентного поиска.

Здесь необходимо рассмотреть все возможные способы управления параметром, проанализировать их преимущества и недостатки и выбрать (или разработать) окончательно такой способ управления, который бы обеспечивал требования регламента технологического процесса и заданную точность управления параметром.

Например, для управления влажностью бумаги или картона на БДМ или КДМ основным способом управления является каскадный, включающий стабилизирующий внутренний контур управления давлением пара, поступающего в ведущую группу цилиндров, и задающий (внешний) контур управления влажностью.

Для улучшения динамических свойств САУ и повышения точности управления влажностью, например, картона, рекомендуется вводить упреждающие корректирующие воздействия в контур управления по возмущающим воздействиям, влияющим на влажность.

### ***3.3.4. Выбор и расчёт технических средств САУ***

В этом подразделе необходимо выбрать все технические средства, необходимые для реализации системы управления данным параметром, и выполнить расчёт одного из них, например, регулирующего органа, или расчёт метрологических характеристик канала измерения САУ.

При выборе и расчете отечественных регулирующих органов (клапанов) могут применяться известные в технической литературе методы.

Выбор и расчёт фирменных регулирующих органов, например, фирмы Neles, могут быть проведены с использованием фирменных программ (например, Nelprof фирмы Metso).

Расчёт регулирующего органа сводится к определению его пропускной способности, условного диаметра и его рабочей (расходной) характеристики.

Выбор регулирующего органа, в зависимости от среды, производится по каталогам.

### **3.4. Расчёт и анализ системы автоматического управления параметром (раздел 4 основной части)**

Этот раздел состоит из следующих подразделов:

3.4.1. Математическое описание объекта управления.

3.4.2. Анализ возмущающих воздействий.

3.4.3. Расчёт САУ.

3.4.4. Анализ качества управления.

#### ***3.4.1. Математическое описание объекта управления***

При разработке в современных системах управления большая роль отводится математическому описанию объекта управления.

Модели используются для расчета систем управления, технико-экономических показателей процесса (в частности, данных сменных рапортов), расчета показателей по косвенным параметрам, для прогнозирования поведения процесса во времени (в частности, при аварийных ситуациях), оптимизации, адаптации и т.д..

В зависимости от назначения, модели бывают разных видов. Так, например, статические модели описывают установившееся состояние объекта и выражаются в виде алгебраических уравнений. Динамические модели описывают скорости изменения параметров и выражаются в виде дифференциальных уравнений.

В зависимости от способа получения, модели бывают аналитические, экспериментальные и экспериментально-аналитические.

Математическое моделирование включает разработку модели и её использование.

Аналитический метод разработки модели основан на использовании общих физических законов и, прежде всего, закона сохранения энергии. Аналитический метод не требует наличия реального объекта, а также проведения экспериментов на объекте. Такой метод наиболее эффективен при отсутствии реального объекта, например, на стадии его проектирования. Применение этого метода также целесообразно при отсутствии возможности снятия экспериментальных данных на объекте.

При получении модели аналитическим методом приходится вводить целый ряд ограничений для упрощения модели, а также учитывать отсутствие некоторых данных на объекте. Это снижает точность модели и делает необходимым оценку ее адекватности реальному объекту для производственных условий.

Для технологических объектов управления наибольшую сложность представляет процесс получения динамической модели объекта, используемой при расчете системы управления. Назначение модели определяет её вид и метод получения.

Для разработки математической модели необходимо построить схему взаимосвязей входных и выходных параметров объекта, на основе которой в дальнейшем будет разрабатываться математическая модель.

Разработка экспериментальной динамической математической модели объекта управления сводится к получению на реальном объекте переходных характеристик (кривых разгона) по каналам управления и возмущения и их математической обработке (например, с помощью программы IDEN, разработанной кафедрой АТП и П). В случае использования программы IDEN определяется эквивалентная передаточная функция объекта, включающая передаточные функции непосредственно объекта и датчика, а также преобразователя и исполнительного механизма в случае, если использовался дистанционный режим управления регулирующим органом при снятии кривой разгона.

При экспериментально-аналитическом методе общий вид модели получают аналитически, а коэффициенты рассчитывают из экспериментальных данных.

В данном подразделе необходимо разработать математическое описание объекта управления параметром в соответствии с темой дипломного проекта, получить выражения для передаточных функций объекта по управляющему и основным возмущениям (каналам) и построить структурную схему объекта управления.

При использовании программ для получения математической модели необходимо представить в Приложении к дипломному проекту расчетные текстовые файлы с исходными данными.

В Приложении 5 приведен пример схемы взаимодействия параметров.

### ***3.4.2. Анализ возмущающих воздействий***

В этом подразделе на основе структурной схемы объекта управления необходимо перечислить все входные и выходные параметры процесса, их взаимосвязь, определить управляющее и возмущающее воздействия, их номинальные значения, пределы их изменения (максимальные и наиболее вероятные), а также их относительное влияние на регулируемый параметр и

готовую продукцию. Для основных выходных параметров объекта управления должны быть построены гистограммы.

Необходимо выбрать главное, или основное, возмущение, которое необходимо учитывать при выборе параметров настроек контроллера АСУТП, и привести математическое описание объекта по этому каналу.

При проведении оценки качества процесса управления САУ параметром следует учитывать характер и величину основного возмущения, которое может быть детерминированным или стохастическим (случайным).

### ***3.4.3. Расчет САУ***

Целью расчета САУ является выбор структуры регулятора (закона управления) и расчет численных значений параметров настроек регулятора, обеспечивающих заданные показатели качества работы САУ.

Основные этапы расчета САУ: разработка алгоритмической структурной схемы, выбор критерия или показателей качества процесса управления с учетом требований к качеству управления технологическим параметром, выбор схемы или метода расчета, моделирование работы системы с целью оценки показателей качества ее работы, соответствия полученных результатов заданным показателям и, при необходимости, перерасчет системы.

#### **Разработка алгоритмической структурной схемы САУ**

При разработке алгоритмической структурной схемы САУ необходимо учитывать следующее.

Во-первых, техническую реализацию управляющего устройства, и соответственно, используемый метод расчета непрерывных или дискретных систем.

Во-вторых, используемый принцип или способ управления, количество переменных и их взаимосвязь. В зависимости от этого, алгоритмическая схема будет одноконтурной, многоконтурной, каскадной, комбинированной и т.д.

В-третьих, в алгоритмической структурной схеме передаточные функции отдельных элементов системы управления (преобразователи, исполнительный механизм, регулирующий орган, датчик и задатчик) могут быть выделены отдельно или включены в модели объекта регулирования и регулятора. Это во многом зависит от варианта получения модели объекта. При аналитическом методе построения модели объекта целесообразно выделять передаточные функции перечисленных элементов. При экспериментальном методе передаточные функции некоторых элементов будут учитываться в передаточной функции объекта управления, в зависимости от способа снятия разгонной характеристики (ручной или

дистанционный с использованием панели оператора или местного пункта управления).

Пример алгоритмической структурной схемы дискретной одноконтурной системы управления приведен в Приложении 6.

### Выбор критерия или показателей качества процесса управления

Система управления, как правило, обеспечивает решение двух задач: управления по заданию и компенсации возмущающих воздействий. Требования к работе САУ задаются, исходя из экономических показателей, допустимых отклонений технологического режима, назначения системы управления и др. Эти требования формулируются в подразд. 3.2 и отражают показатели качества работы САУ. Если рассматривается работа системы при изменении задания, тогда следует рассматривать в качестве критериев или показателей качества время переходного процесса и перерегулирование. При оценке эффективности работы системы при компенсации возмущений показатель качества зависит от характера возмущающих воздействий. При ступенчатом изменении возмущения, характерном при изменении нагрузки агрегатов, также используются: время переходного процесса, максимальное отклонение, перерегулирование. Если возмущения носят случайный характер, при формулировании требований к работе системы используются критерии среднеквадратического отклонения или дисперсии ошибки регулирования.

### Выбор схемы или метода расчета

Процедура расчета системы управления зависит от множества факторов. Перечислим некоторые из них. Вид уравнений модели объекта: с сосредоточенными параметрами, с распределенными параметрами, с запаздывающим аргументом, линейные, нелинейные и т.д. Характер возмущающих воздействий: детерминированные, стохастические. Форма записи модели объекта: передаточные функции, уравнения в форме пространства состояния. Область исследования системы управления: временная, частотная. Цель управления: стабилизация параметров, программное управление, управление конечным состоянием. Используемые принципы управления: управление по обратной связи, управление по возмущению, комбинированное управление. Количество переменных и их взаимосвязь: одномерные, многомерные системы. Степень сложности используемых методов расчета: синтез системы управления (вариационное исчисление, методы оптимального управления), процедуры параметрического синтеза регуляторов, использование инженерных методов (номограммы, расчетные формулы) или программ, расчета на компьютере и т.д. Выбор рационального метода расчета системы является чрезвычайно ответственным этапом и во многом определяет работоспособность системы

управления. Это обусловлено тем, что различные методы расчета обеспечивают различные показатели качества работы системы.

Для расчета системы в дипломном проекте можно использовать широкий спектр методов, реализованных с помощью программных средств, например, программные пакеты Matlab или программное обеспечение кафедры АТП и П. Также могут применяться численные методы оптимизации для выбора оптимальных настроек регуляторов САУ с использованием разностных уравнений системы в Excel. Выбор метода расчета определяет руководитель дипломного проекта. В ряде случаев, по согласованию с зав. кафедрой, допускается использование номограмм, приближенных формул и т.д.

Для расчета настроек регулятора дискретной САУ рекомендуется использовать автоматизированную систему имитационного моделирования ASIMLIN, которая позволяет построить область устойчивости одноконтурной дискретной системы управления в плоскости параметров ПИ-регулятора, выбрать настройки регулятора, обеспечивающие заданный запас устойчивости системы. Запас устойчивости системы определяется в программе по заданному значению колебательности системы, которое, в свою очередь, определяет расположение ближайших к мнимой оси корней характеристического полинома замкнутой системы.

Колебательность - это косвенный показатель, который не определяет однозначно время переходного процесса и перерегулирование ни по заданию, ни по возмущению. В программе ASIMLIN предусмотрена возможность построения графиков переходных процессов по заданию и возмущению и оценка показателей качества переходного процесса.

При расчете каскадной САУ может быть использована программа ASIMLIN. В этом случае последовательно производится расчет настроек регуляторов внутреннего и внешнего контуров САУ с использованием программы IDEN для получения математической модели внутреннего контура.

При расчете САУ соотношением двух параметров также может быть применена программа ASIMLIN. С ее помощью могут быть рассчитаны базовый (основной) и вспомогательный контуры регулирования. Затем для передаточной функции корректирующего звена, связывающего эти контуры, определяется его коэффициент или коэффициенты передачи.

Результаты расчета САУ должны быть представлены в виде текстового файла с исходными данными. В Приложении 7 представлены примеры изображения области устойчивости, линии равного запаса устойчивости, а также графики переходных процессов, полученные при расчете САУ с использованием программы ASIMLIN.

### 3.4.4. Анализ качества управления

Типы и характеристики показателей качества предлагаемой системы управления в общем случае определяются требованиями, предъявляемыми к разрабатываемой САУ.

В данном подразделе необходимо выполнить оценку показателей качества работы САУ, обеспечивающих стабилизацию режимов непрерывных технологических процессов.

В общем случае выделяются следующие общие группы показателей качества работы системы управления рассматриваемого типа:

- оценка точности работы системы в установившемся и переходном режимах;
- оценка быстродействия системы;
- оценка запаса устойчивости.

**Точность в установившемся режиме** определяется следующими показателями:

- оценкой установившейся, статической ошибки  $\Delta X_{\infty}$  в конце переходного процесса

$$\Delta X_{\infty} = \Delta Y_{\infty} - \Delta G(t),$$

где  $\Delta G(t)$  – изменение задающего воздействия;

- $\Delta Y_{\infty} = Y_{\infty} - Y_0$ , установившееся приращение регулируемого параметра в конце переходного процесса;

$Y_{\infty}$  - установившееся истинное значение регулируемого параметра в конце переходного процесса;

$Y_0$  - значение регулируемого параметра при  $t=0$ .

Эту же оценку можно получить, используя предельные теоремы Лапласа о конечном значении, по соответствующей передаточной функции замкнутой системы, типу и параметрам входного воздействия;

- оценкой дисперсии  $\sigma_{уст}^2$  регулируемого параметра в установившемся режиме при учете случайного характера его изменения.

Тогда, зная дисперсию регулируемого параметра  $\sigma_{исх}^2$ , полученную при обработке реального тренда работы САУ в условиях случайных возмущений, можно оценить эффективность работы проектируемой системы управления расчетом коэффициента эффективности по выражению

$$\acute{x} = \sigma_{исх}^2 / \sigma_{уст}^2.$$

**Точность в переходном режиме** определяется средним квадратом динамической ошибки за определенное время  $t$  переходного процесса в виде выражения

$$\overline{x^2} = \frac{\sum_0^t \Delta x^2(t)}{t}.$$

Оценки  $\sigma_{уст}^2$  и  $\overline{x^2}$  могут быть найдены по данным текстовых файлов, результатам моделирования разработанной системы с применением элементов расчета в Excel.

В Приложении 8 показаны переходные процессы для астатической системы по задающему и возмущающему воздействиям. На графиках отмечены все **необходимые данные** для определения соответствующих оценок качества.

**Оценка запаса устойчивости** определяет степень удаленности разработанной системы от ее колебательной границы устойчивости в плоскости варьируемых параметров. Эта оценка качества работы системы по переходным процессам включает в себя следующие показатели:

- максимальный динамический выброс  $\Delta Y_{\max}$ , определяемый по выражению

$$\Delta Y_{\max} = Y_{\max} - Y_0,$$

где  $Y_{\max}$  - максимальное значение регулируемого параметра в переходном процессе;

- перерегулирование  $\sigma$  для переходного процесса при  $\Delta Y_{\infty} \neq 0$  в виде выражения

$$\sigma = \frac{\Delta Y_{\max} - \Delta Y_{\infty}}{\Delta Y_{\infty}} \cdot 100 \% ;$$

- перерегулирование  $\sigma$  для переходного процесса при  $\Delta Y_{\infty} = 0$  в виде выражения

$$\sigma = \frac{Y_2}{Y_1} \cdot 100 \% ,$$

где  $Y_1$  – приращение амплитуды параметра первой полуволны за первый период;

$Y_2$  - приращение амплитуды параметра второй полуволны за первый период;

- затухание за период  $\gamma$  находится при колебательном переходном процессе; при этом определяются значения амплитуды колебаний относительно нового установившегося состояния  $\Delta Y_{\infty}$  в виде отношения приращения амплитуды параметра за период колебания в виде выражения

$$\gamma = \frac{Y_1 - Y_3}{Y_1} \cdot 100 \% ,$$

где  $Y_3$  - приращение амплитуды параметра первой полуволны за второй период.

**Оценка быстродействия системы** может быть определена по двум показателям – по времени окончания переходного процесса системы, определяемому внутренними свойствами системы, и по времени регулирования, зависящему от заданной точности  $\xi$  работы системы.

Теоретически время переходного процесса равно бесконечности. Практически устанавливают определенную зону изменения регулируемого параметра, которая приближенно определяет время переходного процесса. Эта зона устанавливается в зависимости от  $\Delta Y_{\infty}$  регулируемой величины в виде

$$\Delta_1 = \pm (5 \div 3) \% \text{ от } \Delta Y_{\infty}, \text{ если } \Delta Y_{\infty} \neq 0.$$

**Время переходного процесса** тогда определяется в тот момент времени, когда начинает выполняться неравенство

$$|\Delta Y(t_{\text{пер.пр}}) - \Delta Y_{\infty}| \leq \Delta.$$

Если  $\Delta Y_{\infty} = 0$ , то время переходного процесса не определяется.

На практике для оценки быстродействия САУ широко используется **время регулирования**, которое определяется заданной точностью  $\xi$  регулируемого параметра относительно изменения задающего воздействия  $\Delta G(t)$  или номинального состояния  $Y_0$  при анализе переходных процессов по возмущению.

Время регулирования для переходного процесса при изменении задания будет определяться моментом времени выполнения неравенства

$$|\Delta Y(t_{\text{рег}}) - \Delta G(t)| \leq \xi.$$

Время регулирования для переходного процесса при изменении возмущающего воздействия будет определяться моментом выполнения неравенства

$$|\Delta Y(t_{\text{рег}})| \leq \xi.$$

Почти все описанные выше оценки качества проектируемой системы управления получены на основании численного анализа графического представления переходных процессов на основные виды воздействий. Такая форма работы требует, чтобы практически для каждой изображаемой кривой был выбран удобный для анализа масштаб, особенно это касается графика переходного процесса регулируемого параметра системы управления.

Практическое использование рассмотренных выше оценок качества работы системы управления по переходным процессам на исследуемый вид входного воздействия зависит от конкретных требований к системе и условий их выполнения.

### **3.5. Проектирование АСУТП (раздел 5 основной части)**

Этот раздел состоит из следующих подразделов:

3.5.1. Разработка функциональной схемы автоматизации.

3.5.2. Разработка функциональной структуры АСУТП.

3.5.3. Выбор КТС АСУТП.

3.5.4. Разработка технической структуры АСУТП.

#### ***3.5.1. Разработка функциональной схемы автоматизации***

Функциональная схема автоматизации является основным техническим документом, определяющим функциональную структуру, параметры контроля, регулирования, сигнализации, защиты и блокировки, а также способы регулирования и организацию пунктов контроля и управления.

При разработке функциональных схем автоматизации используется ГОСТ 21.404-85 «Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах».

ГОСТ 21.404-85 устанавливает два способа построения функциональных схем автоматизации: упрощённый и развёрнутый. При упрощённом способе весь комплект приборов контроля или регулирования параметра изображается одним условным знаком, расположенным в любом месте чертежа и имеющим одно позиционное обозначение.

Такой способ может быть использован только для локальных систем управления, реализованных на приборных технических средствах (регуляторах). При развёрнутом способе каждый прибор системы контроля или регулирования параметра изображается отдельным условным знаком, а все приборы располагаются в нижней части чертежа, в специальных прямоугольниках, в зависимости от места расположения прибора. При этом способе позиционные обозначения всех приборов контроля или регулирования одного параметра имеют одну и ту же цифру, а каждый из приборов – эту цифру с цифровым индексом (через тире). Причём индексация проводится в направлении прохождения сигнала. Развёрнутый способ может быть использован для любых функциональных схем автоматизации.

В Приложении 9 приведён пример выполнения функциональной схемы автоматизации, реализованной на программно-техническом комплексе.

### ***3.5.2. Разработка функциональной структуры АСУТП***

В этом подразделе разрабатывается функциональная структура АСУТП, в которой должны быть представлены задачи, реализуемые информационной и управляющей подсистемами АСУТП, а также подсистемой автоматической защиты технологического оборудования или подсистемой технологических защит.

При разработке функциональной структуры должны быть определены основные задачи, реализуемые в АСУТП для обеспечения ее требуемых технико-экономических показателей, с учетом технических требований к АСУТП, представленных в п. 3.2.2.

Функциональная структура АСУТП должна представлять информацию о функциях и задачах, реализуемых в разрабатываемой АСУТП. Пример функциональной структуры АСУТП показан в Приложении 10.

В этом подразделе также необходимо представить алгоритмы управления или функциональные схемы САУ технологическими параметрами. Должно быть представлено описание работы САУ с указанием номеров позиций элементов САУ, показанных на функциональной схеме автоматизации.

### ***3.5.3. Выбор КТС АСУТП***

В состав комплекса технических средств (КТС) АСУТП входят программно-технический комплекс (ПТК), средства автоматизации полевого

уровня, шкафы управления и кроссовые шкафы, а также местные пункты управления.

### 3.5.3.1. Выбор ПТК

Современные АСУТП создаются с использованием микропроцессорных ПТК, которые различаются способами технической реализации, масштабом и набором выполняемых функций. Основой технических средств ПТК являются микропроцессорные контроллеры, устройства ввода-вывода, сетевое оборудование и компьютеры в обычном и промышленном исполнении.

При выборе ПТК необходимо учитывать концепцию построения АСУТП:

1. АСУТП представляет собой систему, содержащую программно-логические контроллеры (ПЛК) и SCADA-систему.

2. АСУТП представляет собой распределенную систему управления (PCU), или DCS (Distributed Control System).

Большинство современных АСУТП строятся на основе промышленных ПЛК + Ethernet + операторские станции + SCADA-система. Это позволяет создавать АСУТП, отвечающие в целом требованиям заказчиков. Однако при таком подходе имеются следующие недостатки: нет единой ответственности поставщика системы; всю ответственность несет системный интегратор; отсутствует реальное резервирование; невысокая скорость передачи и обработки данных.

Распределенные системы управления - это системы управления технологическими процессами с распределенным вводом/выводом информации и децентрализованной обработкой данных. В настоящее время находят применение такие PCU, как Centum CS300 (Yokogawa, Япония), Metso DNA (Metso Automation, Финляндия), Simatic PSS7 (Siemens, Германия), System800xA (ABB, Швеция). Современные PCU способны обрабатывать от сотен до тысяч и десятков тысяч сигналов, имеют высокую производительность и надежность, которая обеспечивается высоконадежной элементной базой компонентов и системами резервирования.

Современные PCU используют промышленные рабочие станции, многоканальные контроллеры, станции распределенного ввода/вывода, открытые промышленные сети (Industrial Ethernet, Profibus, CAN и др.), интеллектуальные устройства ввода/вывода, беспроводные устройства передачи информации, WEB-технологии обмена данными.

Для построения АСУТП могут использоваться ПТК на основе специализированных, моноблочных (компактных) и программируемых модульных (проектно-компонуемых), а также PC-base, или PC-совместимых, контроллеров.

Среди специализированных контроллеров можно выделить контроллеры СПЕКОН СК, предназначенные для автоматизированного управления в теплоэнергетике, имеющие объектно-ориентированное

программное обеспечение, табло и функциональную клавиатуру. На основе этих контроллеров можно создавать децентрализованные АСУ производством, распределением и потреблением тепловой энергии.

Имеется большое разнообразие моноблочных контроллеров для автоматизации небольших объектов в различных отраслях промышленности, среди которых можно выделить Simatic S7-200 («Siemens»), Simatic S7-300 («Siemens»), ТКМ 410 («ТЕКОН»), МС8 комплекса КОНТАР («МЗТА»).

При создании АСУ технологическими процессами и производствами широко используются программируемые модульные контроллеры вместе со SCADA-системами.

Широкое применение находят контроллеры фирмы Siemens, например, программируемый контроллер SIMATIC S7-300 - это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения АСУ низкой и средней сложности. Контроллер SIMATIC S7-300 широко применяется в различных отраслях промышленности благодаря наличию в своем составе: нескольких типов центрального процессора (CPU) различной производительности, различных модулей ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, функциональных модулей, способных самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, и коммуникационных процессоров.

Программируемый контроллер SIMATIC S7-400 - это модульный программируемый контроллер, предназначенный для построения АСУ средней и высокой сложности. Контроллер SIMATIC S7-400 находит широкое применение в различных отраслях промышленности благодаря наличию в своем составе: нескольких типов центрального процессора (CPU) различной производительности, оснащенных встроенным интерфейсом PROFIBUS-DP, различных модулей ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов, функциональных модулей (FM), способных самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, интерфейсных модулей (IM) и коммуникационных процессоров (CP) для организации последовательной передачи данных по PtP интерфейсу, а также сетевого обмена данными.

Модульная конструкция контроллера Siemens SIMATIC S7-400, гибкие возможности расширения, мощные коммуникационные возможности, простота создания PCS позволяют решать задачи автоматизации практически любой сложности.

В САУ котлоагрегатами и другими технологическими объектами в промышленности также находят применение контроллеры CJ1 и CS1 фирмы Omron (Япония).

Одним из перспективных направлений является создание АСУ на основе PC-base, или PC-совместимых, контроллеров, которые характеризуются следующим:

- имеют классическую открытую структуру IBM PC;
- работают под управлением тех же операционных систем, которые используются в PC, например, Windows, Unix, Linux, QNX;

• программирование выполняется на тех же языках, которые используются для разработки ПО для РС.

PC-base, или PC-совместимые, контроллеры, по сравнению с остальными, обладают большей производительностью, легче стыкуются с различными SCADA, MES, ERP системами, системами управления базами данными, открыты для большинства стандартов в области коммуникации и программирования, они в среднем дешевле и проще в обслуживании.

PC-base, или PC-совместимые, контроллеры, могут использовать программное обеспечение различных производителей, имеют больший объем памяти, чем традиционные ПЛК, возможности расширения и модернизации, а также лучшего диагностирования. Однако эти контроллеры в целом обладают избыточностью вычислительных ресурсов и функций ввиду их универсальности, возможностью зависания с длительным временем рестарта, пониженной надежностью за счет множества компонентов (приложений) на платформе РС.

В промышленности находят применение, наряду с зарубежными контроллерами, например, ADAM 4500, ADAM 5510/5511, ADAM-6500 компании «Advantech» (Тайвань), Direct Logic 470 компании «Kooyo Electronics» (Япония), и отечественные: контроллеры «ТЕКОН», контроллер КРОСС (ОАО «АБС ЗЭиМ Автоматизация») и др.

Линейка контроллеров «ТЕКОН» (многофункциональные контроллеры МФК, МФК 3000, МФК 1500, ТКМ 52, ТКМ 410) охватывают практически все возможные задачи от автоматизации отдельных агрегатов и установок до создания АСУ ТЭС и ТЭЦ.

Контроллер КРОСС-500 (ОАО «АБС ЗЭиМ Автоматизация»). Основное назначение контроллера - построение недорогих и надежных АСУ технологическими процессами различного класса (простые и сложные, медленные и быстрые) в различных отраслях промышленности. Контроллер КРОСС-500 является проектно-компоновемым изделием, состав которого определяет пользователь, в зависимости от решаемых задач.

При выборе контроллера для АСУ необходимо учитывать, что PC-несовместимые контроллеры (специализированные, моноблочные и модульные) лучше учитывают требования, предъявляемые к промышленным системам управления. Они в целом более надежны. В них шире используются возможности связи с различными полевыми шинами. В этой связи они находят более широкое применение в АСУ технологическими процессами и производствами.

При выборе ПТК учитываются такие факторы, как количество и тип входных и выходных сигналов, пределы и необходимая точность измерения, метрологические характеристики, технические характеристики, область и практика применения, завод-изготовитель, доступность, наличие сервисной базы, стоимость изделия и его обслуживания, сроки и гарантии поставки, опыт эксплуатационного персонала и др.

В дипломном проекте необходимо выбрать ПТК, работающий в непрерывном режиме эксплуатации, на основе технико-экономического сравнения двух вариантов ПТК российского и зарубежного производства.

В состав ПТК должны входить: программируемый контроллер (контроллеры) с модулями ввода/вывода входных и выходных сигналов, станция оперативного управления или программируемый терминал (терминалы), сетевое оборудование, вторичные источники электропитания, источники бесперебойного питания.

### 3.5.3.2. Выбор приборов и средств автоматизации

К приборам и средствам автоматизации относятся, кроме ПТК, измерительные преобразователи (в комплекте), вторичные приборы, регуляторы, пусковая и управляющая аппаратура, исполнительные устройства (исполнительные механизмы и регулирующие органы), а также шкафы управления, кроссовые шкафы, пункты управления, вспомогательные устройства, необходимые для работы средств автоматики.

При выборе приборов и средств автоматизации учитываются такие факторы, как вид используемой энергии (пневматические или электрические), наличие выходного сигнала, пределы измерения, метрологические характеристики, область и практика применения, завод-изготовитель, доступность, цена приборов и др.

При автоматизации теплоэнергетических процессов преимущественно используются электрические приборы, а при автоматизации химических производств – пневматические приборы, в частности, исполнительные механизмы. Предпочтение отдаётся приборам, имеющим стандартные входные и выходные сигналы. Система автоматизации должна строиться на однотипных приборах одной серии или системы.

Все выбранные приборы и средства автоматизации оформляются в виде заказной спецификации приборов и средств автоматизации, которая является частью заказной спецификации оборудования и имеет стандартную форму (см. таблицу).

#### Форма заказной спецификации приборов и средств автоматизации

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка	Код оборудования	Завод-изготовитель	Единица измерения	Кол-во	Масса единицы	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9

При большой заказной спецификации она может быть размещена в Приложении.

В Приложениях 11,12,13 приведены примеры структурной схемы КТС, внутреннего вида шкафа и плана прокладки кабельной сети.

### 3.5.3.3. Шкафы управления

Шкаф управления представляет собой комплектное низковольтное устройство, обеспечивающее комплексную защиту и автоматизацию управления технологическими процессами. Шкафы управления разрабатываются на базе микропроцессорной техники с возможностью регистрации событий и параметров и интеграции в систему АСУТП.

Шкафы управления объединяют следующие функции:

1. Резервирование питания.
2. Управление и защита двигателей и механизмов от недопустимых режимов работы.
3. Поддержание требуемых климатических условий в помещении с помощью приточной и вытяжной вентиляции.
4. Управление освещением.
5. Учет наработки оборудования, учет воды, учет электроэнергии.
6. Диспетчеризация.

Шкаф может изготавливаться в навесном или напольном исполнении.

В оболочку шкафа устанавливается съемная панель с комплектующим оборудованием, или оборудование размещается на рамно-реечной конструкции. Дверь шкафа выполняет функцию лицевой панели. На ней располагается управляющая и светосигнальная арматура (переключатели, световые индикаторы, панель контроллера).

В шкафу предусмотрена защита электрических установок при перегрузках и коротких замыканиях.

Шкафы управления содержат источник бесперебойного питания (ИБП). ИБП предназначен только для бесперебойной работы контроллера во время отсутствия основного питания.

Шкаф может быть укомплектован GSM модемами.

Шкаф может комплектоваться по заказу другими типами оборудования.

Кроме этого, в шкафах управления может размещаться следующее оборудование:

- релейные схемы управления (реле, контакторы, тепловые реле, кнопки, переключатели);
- вводные автоматические термомагнитные выключатели стационарного исполнения в качестве коммутирующих устройств;
- микропроцессорная схема управления на контроллерах;
- частотные преобразователи;
- устройства плавного пуска;
- шкафное оборудование.

При расположении оборудования в шкафах необходимо предусматривать расположение контроллеров и средств автоматизации на уровне не ниже 1000 мм от пола и не выше 1700 мм.

Шкафы управления изготавливаются с применением как отечественных комплектующих, так и комплектующих зарубежных фирм.

#### *3.5.3.4. Кроссовые шкафы*

Кроссовые шкафы предназначены для подключения полевых кабелей от объектов управления и датчиков к шкафам управления. Они содержат рельсы (DIN-рейки) с размещенными на них пружинными клеммами. С одной стороны к клеммам подключаются полевые кабели, с другой – кабели от блоков управления, размещенных в шкафах управления.

Вынесение клемм в отдельные шкафы обеспечивает ограничение доступа монтажников и наладчиков к электронной аппаратуре ПТК, что ведет, в том числе, к необходимой чистоте и порядку в шкафах управления. Установка отдельного кроссового шкафа с удобным доступом к клеммам, кроме того, повышает скорость и качество монтажа, а также позволяет при необходимости достаточно легко проводить перетрассировки входных/выходных сигналов ПТК, в том числе подключение к ПТК новых сигналов.

#### *3.5.3.5. Шкафы силовой коммутации*

Шкаф силовой коммутации представляет собой силовой шкаф, предназначен для автоматизации объектов любой сложности и назначения и позволяет обеспечить:

- коммутацию силовых цепей насосов, вентиляторов, электродвигателей, конвейеров, электродвигателей и прочих устройств;
- работу с любым типом привода: однофазным и трехфазным, регулируемым и нерегулируемым;
- работу с любым видом пуска: прямым, звезда/треугольник, с использованием устройств плавного пуска и частотного регулирования;
- коммутацию силовых цепей автоматического включения резерва электропитания (АВР);
- электропитание однофазных и трехфазных нагрузок;
- размножение цепей сигнализации и управления (при помощи реле).

Шкаф может обеспечивать частотное регулирование двигателя, выполняет функции автоматического управления, контроля рабочих параметров, управления вспомогательным оборудованием (обогрев, освещение).

Шкаф может изготавливаться в навесном или напольном исполнении.

В оболочку шкафа устанавливается съемная панель с комплектующим

оборудованием, или оборудование размещается на рамно-реечной конструкции.

Дверь шкафа выполняет функцию лицевой панели. На ней располагается управляющая и светосигнальная аппаратура (переключатели, световые индикаторы, панель контроллера).

В шкафу предусмотрена защита электрических установок при перегрузках и коротких замыканиях.

В шкафах силовой коммутации располагается следующее оборудование.

- релейные схемы управления (реле, контакторы, тепловые реле, кнопки, переключатели);
- вводные автоматические терромагнитные выключатели стационарного и выкатного исполнения на токи от 16 до 630 А с моторными приводами в качестве коммутирующих устройств;
- контакторы для коммутации силовых цепей с механической блокировкой от одновременного срабатывания, время переключения (срабатывания) вводов от 0,05 до 0,1 с.;
- микропроцессорная схема управления на контроллерах;
- частотные преобразователи;
- устройства плавного пуска;
- шкафное оборудование.

### *3.5.3.6. План расположения*

Планы расположения выполняют для здания или части здания с учетом технологических узлов и очередей строительства. Масштабы чертежей принимают по ЕСКД с учетом обеспечения четкого графического изображения электрооборудования и электрических сетей.

На планах расположения показывают:

- строительные и технологические конструкции, трубопроводы и другие коммуникации, определяющие трассы прокладки электрических и сигнальных сетей или используемые для их крепления и прокладки, в виде контурных очертаний – сплошными тонкими линиями по ЕСКД;
- наименования отделений, участков, цехов, помещений и т.п., если это определяет характер прокладки сетей;
- электрооборудование, электрические и сигнальные сети в виде условных графических изображений с указанием буквенно-цифровых обозначений по принципиальным схемам, кабельным или кабельно-трубным журналам;
- электроприемники, трансформаторные подстанции, комплектные электротехнические устройства, аппараты и т.п.;
- шинопроводы (магистральные, распределительные, троллейные);
- троллейные линии и участки электрической сети, выполнение шинами на изоляторах.

Электрооборудование, электрические и сигнальные сети на планах расположения приводят в следующем составе:

- трассы открытой прокладки кабелей и проводов на конструкциях, в коробках, на лотках, в трубах, каналах, тоннелях;
- кабельные конструкции, если чертежи их установки не совмещены с планами прокладки проводов и кабелей;
- трубы скрытой прокладки проводов и кабелей в полах, в земле и фундаментах.

Планы расположения электрооборудования, как правило, совмещают с планами прокладки электрических и сигнальных сетей.

При необходимости приводят разрезы, нетиповые узлы установки электрооборудования и прокладки сетей, схемы расположения шинпроводов, а также схемы транспортировки крупногабаритного электрооборудования. Для трубных проводок, выполняемых блоками и пакетами труб, разрабатывают чертежи на блоки и пакеты.

Электрооборудование (за исключением электроприемников, комплектных устройств, аппаратов и приборов, установленных непосредственно на технологическом оборудовании) и трассы электрических сетей, проложенных как скрыто в трубах в полу, так и открыто, должны иметь привязки и отметки на плане.

Привязку электротехнического оборудования и электрических сетей производят, как правило, к координационным осям зданий, сооружений или к осям технологического оборудования при условии, что это оборудование по своему характеру имеет фундаменты или монтируется до прокладки труб электропроводки.

При скрытой прокладке электрических сетей (в полах, в земле, в фундаментах) привязывают концы труб и указывают отметки заложения и выхода. В фундаментах сложного оборудования дают дополнительные привязки концов труб к ближайшим фундаментным болтам.

При открытой прокладке электрических сетей по технологическим установкам, сооружениям и строительным конструкциям (галереи, фермы, колонны) привязку электрических сетей допускается производить к указанным установкам, сооружениям и конструкциям.

Допускается не указывать привязку одиночных устройств (например, пускателей, кнопок, штепсельных розеток) и открыто проложенных кабелей, если места их установки или прокладки ясны без привязок.

#### ***3.5.4. Разработка технической структуры АСУТП***

Разрабатывается техническая структура АСУТП, концепция построения которой определяется при разработке требований к АСУТП. В ЦБП и энергетике нашли широкое применение трехуровневые АСУТП, в которых 1-й уровень представляет собой объект управления с полевой автоматикой (датчики, регулирующие органы, исполнительные механизмы);

2-й уровень – это контроллер или контроллеры, осуществляющие формирование управляющих сигналов, сбор и передачу информации на верхний уровень АСУТП; 3-й, или верхний, уровень – это операторская станция с автоматизированными рабочими местами (АРМ) операторов-технологов.

Спецификация датчиков, преобразователей (электропневматических преобразователей, электропневматических позиционеров, усилителей мощности и пускателей), электрических и пневматических исполнительных механизмов, регулирующей арматуры разрабатывается в п. 3.5.3. «Выбор КТС АСУТП».

В этом подразделе необходимо определить количество модулей ввода/вывода входных и выходных сигналов для ПЛК, выбранного в подразделе «Выбор КТС АСУТП», с учетом уточненных таблиц сигналов, разработанных в п. 3.2.3. «Выбор и обоснование предлагаемой системы автоматизации», и представить спецификацию ПЛК.

Для организации передачи данных в АСУТП требуется выбрать физические каналы передачи данных (коаксиальный кабель, витая пара и оптоволоконный кабель) и промышленную сеть. В зависимости от области применения, весь спектр промышленных сетей можно разделить на следующие уровни:

- контроллерные сети (Field level) – промышленные сети, решающие задачи по управлению процессом производства, сбором и обработкой данных на уровне промышленных контроллеров;
- сенсорные сети (сети низовой автоматики): ASI (Actuator/Sensor Interface), HART, Modbus, решают задачи опроса датчиков и управления исполнительными механизмами;
- промышленные сети контроллерного уровня: PROFIBUS (Process Field Bus), controlNet, CAN (Controller Area Network);
- универсальные сети: LON (Local Operating Network), Foundation Fieldbus, Ethernet/Industrial Ethernet.

Foundation Fieldbus представляет открытый протокол, позволяющий использовать программно-аппаратные средства различных производителей; а также двухуровневый сетевой протокол, сочетающий черты мощной информационной магистрали для объединения РС верхнего уровня и управляющей сети, объединяющей ПЛК, датчики и исполнительные механизмы.

В технической структуре АСУТП должны быть представлены:

- объект управления с полевой автоматикой;
- кроссовые шкафы;
- шкафы управления с ПЛК, имеющими в своем составе CPU, память и выбранные модули ввода/вывода;
- шкафы силовой коммутации с усилителями, пусковой аппаратурой и схемами управления электроприводами;
- источники электропитания ПЛК, усилителей и пусковой аппаратуры.

При разработке технической структуры АСУТП необходимо учитывать, что контроллеры могут быть подключены к шкафам силовой коммутации непосредственно либо через кроссовые шкафы.

Для верхнего уровня АСУТП требуется выбрать промышленное оборудование для организации АРМ операторов-технологов. В случае необходимости следует предусмотреть инженеринговую станцию (АРМ) и удаленные устройства ввода информации, например, из технологических лабораторий.

В составе АСУТП могут быть пункты местного управления, реализованные на промышленных терминалах. В этом случае эти устройства должны быть показаны на технической структуре АСУТП. В Приложении 14 представлена техническая структура АСУТП котла БКЗ.

В схеме АСУТП можно выделить следующие уровни управления:

- **1-й уровень (полевой)** служит для сбора и передачи информации о состоянии параметров технологического процесса (источники информации: датчики, термодатчики, исполнительные механизмы), а также автоматического регулирования технологических процессов (исполнительные механизмы, частотные преобразователи);

- **2-й уровень** служит для накопления и обработки данных. Эти функции выполняет промышленный программируемый контроллер;

- **3-й уровень** служит для оперативного управления, контроля и отображения информации, архивации данных, дистанционного управления оборудованием, координации и оптимизации технологического режима (операторская станция).

Основным устройством, входящим в состав АСУ, является программируемый контроллер Siemens Simatic S7-400H, в состав которого входят:

- > модули процессора CRU 412-3H;
- > модули питания PS 407;
- > 2 модуля синхронизации на один центральный процессор для связи базовых блоков контроллера по оптоволоконной линии связи, 2 оптоволоконных кабеля для установки синхронизирующих соединений;
- > интерфейсные модули PROFIBUSDPIM 153-2;
- > коммуникационные процессоры Ethernet CP 443-1;
- > модули ввода-вывода:
  - модули ввода дискретных сигналов SM 421;
  - модули вывода дискретных сигналов SM 422;
  - модули ввода аналоговых сигналов SM 431;
  - модули вывода аналоговых сигналов SM 432;
- > станции распределенного ввода-вывода ET 200M.

Все центральные функции управления резервируются.

В системе используется переключаемая конфигурация ввода-вывода, в которой модули ввода-вывода подключаются к базовым блокам контроллера через резервированную сеть PROFIBUSDP. Оба центральных процессора

контроллера способны обслуживать все модули ввода-вывода, однако управление системой ввода-вывода осуществляет только центральный процессор ведущего базового блока. Все модули ввода-вывода устанавливаются в станциях распределенного ввода-вывода ET 200M, подключаемых к двум линиям связи резервированной сети PROFIBUSDP через интерфейсные модули IM 153-2. В активном состоянии находится линия, подключенная к ведущему базовому блоку контроллера.

Модуль процессора выполняет программу, соответствующую технологическому алгоритму. Питание внутренних цепей контроллера обеспечивают модули питания, установленные на каждой панели контроллера или станциях распределенного ввода-вывода.

Поддержка работы резервированных коммуникационных модулей обеспечивается на уровне операционной системы центральных процессоров S7-400H: поддержка функций резервирования и синхронизации работы дублированных коммуникационных процессоров CP 443-1. Через эти модули, по резервированной системной шине Ethernet, программа архиватора, установленная на серверах, получает данные с дискретной историей о работе всей системы.

Функционирование котла характеризуется информацией, поступающей от аналоговых и дискретных датчиков состояния теплотехнических параметров, датчиков положения ИМ и датчиков состояния (включено/отключено) электродвигателей и электромагнитов, а также состояния блок-контактов (замкнуты/разомкнуты) силовых коммутационных устройств.

Управляющие сигналы с выходных дискретных модулей через кроссовый шкаф поступают в силовой ШС1, где обрабатываются и с помощью силовой автоматики воздействуют на исполнительные механизмы.

Оперативное управление котлом производится с пульта оператора. На пульте оператора установлены две рабочие станции ПК-1 и ПК-2 с терминальным принтером событий, а также так называемая панель общего пользования ПК-3, для удобства обслуживающего персонала. Рабочие станции соединены с серверами по резервированной терминальной шине Ethernet через коммутаторы. В серверной установлена инженерная станция для настройки работы АСУ и интегрирования программ.

Схема питания АСУ реализована с использованием шкафа АВР (ШС АВР1), на вход которого заведены 2 ввода питания -380 В. На выходе шкафа АВР - выходы резервированного питания ~380 В, которое затем подается в силовые шкафы, и вывод питания -220 В в шкаф питания источник бесперебойного питания (ИБП) сервера.

В ИБП сервера установлен источник бесперебойного питания, который питает все шкафы управления, пульт оператора, схемы управления бесперебойным питанием -220 В. Питание для освещения внутри шкафов и розеток осуществляется от отдельной линии питания -220 В.

### **3.6. Безопасность объекта (раздел 6 основной части)**

Содержание определяет руководитель раздела. Основным требованием к данному разделу является обеспечение безопасности объекта управления.

### **3.7. Экономика (раздел 7 основной части)**

Содержание определяет консультант раздела.

Основным содержанием этого раздела является расчёт ожидаемого экономического эффекта от внедрения разработанной АСУТП.

### **3.8. Заключение**

Должно содержать краткие выводы по результатам выполненной работы, оценку технико-экономической эффективности внедрения, оценку технического уровня разработанной АСУ ТП.

### **3.9. Список использованных источников**

Приводятся согласно ГОСТ 7.1-2003. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. в следующем порядке:

- 1) автор (ф.и.о.);
- 2) название (заглавие);
- 3) место издания;
- 4) издательство;
- 5) год издания;
- 6) количество страниц.

Графическая часть проекта должна содержать следующие чертежи и схемы:

1. Схема технологического процесса.
2. Конструктивно-технологическая схема.
3. Математическое описание объекта управления.
4. Алгоритмические структурные схемы системы управления.
5. Иллюстрации к расчёту системы управления.
6. Функциональная схема автоматизации.
7. Структурная схема комплекса технических средств.
8. Монтажные схемы.
9. Сводная таблица экономических показателей.

## **4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРЕДДИПЛОМНОЙ ПРАКТИКИ**

Дипломному проектированию предшествует преддипломная практика, целью которой является получение всех исходных данных для последующей работы над дипломным проектом. При этом необходимые данные могут быть получены как на реальном объекте, так и из литературных источников.

Кроме описания существующей системы управления, необходимо провести необходимые эксперименты в соответствии с заданиями на преддипломную практику и дипломный проект, а также сделать анализ ее работы и наметить пути модернизации системы управления.

Перед преддипломной практикой студенту назначается руководитель дипломного проекта и выдается тема, а также направление на практику.

Содержание отчета о практике указывается в задании.

Отчет о практике, подписанный студентом и руководителем от предприятия, скрепленный печатью предприятия, сдается руководителю дипломного проекта, который оценивает отчет и проставляет оценку в зачетную книжку студента.

Далее отчет с оценкой сдается заведующему кафедрой, который проставляет оценку в зачетную ведомость.

Формы задания на преддипломную практику и титульного листа отчёта о практике приведены в Приложениях 15, 16.

Студенты, не сдавшие в срок отчет по преддипломной практике, не допускаются к государственному экзамену по специальности. Допуск к государственному экзамену оформляется приказом по университету.

## **5. ПОРЯДОК РАБОТЫ НАД ДИПЛОМНЫМ ПРОЕКТОМ**

Рекомендуемый порядок работы над дипломным проектом соответствует последовательности разделов пояснительной записки и оказывает прямое влияние на его успешную защиту в Государственной аттестационной комиссии (ГАК).

Все разделы дипломного проекта должны быть логически связаны. Принципиальные решения по разработке системы автоматического управления должны быть обоснованы.

Руководитель дипломного проекта составляет календарный план выполнения проекта, с указанием основных этапов и сроков.

Дипломный проект в рабочем порядке представляется двойному предварительному контролю - аттестации и предзащите перед кафедральной комиссией, назначаемой заведующим кафедрой.

Аттестация проводится в период с 10-го по 20-е апреля.

Для аттестации представляются утверждённое заведующим кафедрой задание на дипломный проект, оформленная, но не переплетённая записка, содержащая первые три раздела, а также чертежи и схемы первых пяти пунктов графической части проекта.

Студенты, не прошедшие аттестацию, к предзащите не допускаются.

Предзащита проводится в период с 15-го по 20-е мая.

К предзащите представляются полностью оформленная и подписанная студентом и руководителем записка, а также все чертежи и схемы графической части проекта. После прохождения предзащиты электронная копия дипломного проекта сдается на кафедру.

Студенты, не прошедшие предзащиту, к защите не допускаются.

После предзащиты назначается рецензент, и студенту выдаётся к нему направление. На рецензию представляется полностью законченный и оформленный проект в составе записки и графической части.

После рецензирования дипломный проект вместе с рецензией представляется заведующему кафедрой, который принимает окончательное решение о допуске к защите.

Допуск к защите в ГАК оформляется приказом по университету.

Перед защитой дипломный проект с рецензией и отзывом руководителя сдаётся секретарю ГАК.

## **6. ОФОРМЛЕНИЕ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА**

Каждому комплекту документов дипломного проекта присваивают самостоятельное обозначение, в состав которого включают базовое значение и марку. Базовое значение состоит из шифра специальности и, через тире, - шифра студента. Марка дипломного проекта по автоматизации состоит из буквы А и марки того производства (оборудования), для которого разрабатывается система автоматического управления, и, через точку, порядкового номера документа. Например, для дипломного проекта студента с шифром 98035, автоматизирующего котельную установку (КУ), обозначение дипломного проекта будет 220301-98035 АКУ.Х, где Х – порядковый номер документа.

### **6.1. Оформление текстовой части дипломного проекта**

Текстовая часть проекта выполняется машинописным способом на одной стороне бумаги. При печати на компьютере рекомендуется шрифт TIMES NEW ROMAN размером 12 пунктов, печать через полтора межстрочных интервала.

При печати оставляются поля: слева – 20 мм, справа, сверху и снизу – по 5 мм, с рамкой.

Текстовая часть дипломного проекта состоит из трёх документов: ведомости проекта, реферата и пояснительной записки. Первый (заглавный) лист каждого документа имеет в правом нижнем углу основную надпись (штамп) согласно Приложению 17, остальные листы – согласно Приложению 18.

Разделы основной части пояснительной записки нумеруются арабскими цифрами.

Подразделы нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номера раздела и номера подраздела, разделённых точкой, например, 2.1.

Пункты нумеруются арабскими цифрами в пределах каждого раздела. Номер пункта состоит из номера раздела, номера подраздела и номера пункта, разделённых точками, например, 2.2.3.

Заголовки разделов пишутся прописными буквами, заголовки подразделов и пунктов – строчными. Заголовки не подчёркиваются. Точка в конце заголовка не ставится. Каждый раздел следует начинать с нового листа (страницы).

Страницы текстовой части дипломного проекта нумеруются арабскими цифрами следующим образом. Первой страницей считается титульный лист (номер страницы не ставится), второй – задание на дипломное проектирование. Ведомость проекта, реферат и пояснительная записка, как отдельные документы, имеют самостоятельную нумерацию листов, начиная с цифры 1. Порядковый номер листа ставится в графе основной надписи (штампе).

Все единицы измерения, используемые в пояснительной записке, должны быть выражены в системе СИ по ГОСТ 8.417-81. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин. и быть единообразными по всему тексту записки.

Символы, входящие в формулу, выписываются в колонку под формулой, после слова «где». В конце расшифровки каждого обозначения указывается его размерность.

Формулы нумеруются последовательно арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделённых точкой, например, 1.2.

Номера формул проставляются справа от формул, в скобках, на одной вертикальной линии листа.

Все иллюстрации пояснительной записки (схемы, эскизы, чертежи, фотографии) именуется рисунками. Рисунки имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами. Допускается нумерация рисунков по типу формул. Название рисунка располагают после слова «Рис.», например: Рис. 5. Графики переходных процессов.

Дополнительные обозначения на рисунке приводят ниже подрисуночной надписи.

Рисунки должны располагаться сразу после ссылки на них.

Таблицы размещаются после первого упоминания их в тексте. Над каждой таблицей должен быть заголовок (название), который помещается под словом «Таблица». Таблицы имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами. Для единообразия допускается нумерация таблиц по типу формул, т.е. по разделам, например, «Таблица 2.2». При переносе таблицы на

следующую страницу головка таблицы не повторяется, а на следующую страницу переносится нумерация граф, и делается надпись по типу: «Продолжение табл. 4».

Распечатки с компьютера, программы и схемы алгоритмов при их объеме до трёх страниц располагаются непосредственно по тексту изложения, при большем объёме их оформляют как Приложения.

В перечень использованной литературы включаются все источники информации, использованные при дипломном проектировании. Они размещаются в порядке появления в тексте записки. При ссылке в тексте на источники информации приводится порядковый номер по списку литературы, заключенный в квадратные скобки.

Все материалы пояснительной записки располагаются так, чтобы их можно было читать без разворота записки, либо путём поворота по часовой стрелке на 90°.

Дипломные работы оформляются как отчёты по научно-исследовательским работам.

Электронные версии дипломных проектов и работ должны быть выполнены в системах Word или AutoCAD.

## **6.2. Оформление графической части дипломного проекта**

Графическую часть дипломного проекта условно можно разделить на чертежи и демонстрационные плакаты.

К чертежам относятся функциональные схемы автоматизации и конструктивно-технологические схемы оборудования. Чертежи выполняются в соответствии с нормативными документами карандашом, тушью или методом машинной графики. Большая часть графической части проекта относится к демонстрационным плакатам (схемы, графики, формулы, программы и т.д.) и выполняется произвольно в соответствии с общепринятыми правилами. Демонстрационные плакаты могут выполняться фломастером или методом машинной графики, например, в системе AutoCAD.

Распечатки программных документов наклеиваются на листы.

Все графические документы должны быть выполнены на стандартных форматах согласно ГОСТ 2.301-68 (рекомендуется формат А1) с основной надписью (штампом) по ГОСТ 21.101-93 в правом нижнем углу. Образец основной надписи приведён в Приложении 19.

В Приложениях 20 и 21 приведены некоторые нормативные документы, используемые при работе над дипломным проектом.

По согласованию с заведующим кафедрой АТП и П отдельные дипломные проекты и работы могут защищаться в режиме презентации с демонстрацией графической части проекта в электронном виде через проектор. При этом несколько основных плакатов должны быть выполнены в объемном виде.

# П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приложение 1

## Форма титульного листа пояснительной записки дипломного проекта

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Факультет автоматизированных систем управления технологическими  
процессами

**Кафедра автоматизации технологических процессов и производств**

К защите допустить  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.Н. Суриков  
\_\_\_\_\_ 20 г.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА к дипломному проекту на тему

Специальность 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Студент

Шифр

Группа

Руководитель дипломного проекта

Консультанты по разделам:

1. Теплотехническая часть
2. Безопасность объекта
3. Экономика

Санкт – Петербург

20\_\_



**Перечень и объем графического материала к дипломному проекту**

---

---

---

---

---

---

---

---

**Консультанты по разделам дипломного проекта**

- теплотехническая часть \_\_\_\_\_
- безопасность объекта \_\_\_\_\_
- экономика \_\_\_\_\_

Тему дипломного проекта выдал руководитель \_\_\_\_\_

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_

**Настоящее задание прилагается к пояснительной записке.**

Санкт-Петербург

20\_\_ г.

### Пример ведомости проекта

Ведомость проекта

20	№ до-ку-мен-та	Фор-мат	Обозначение	Наименование	Кол-во листов	Кол-во экз.	При-меча-ние
	1	A4	220301-98035 АКУ.1	ТЭЦ-1 Чепецкого механического завода. Котёл ЦКТИ-75-39Ф2. Автоматизация. Ведомость проекта	1	1	
	2	A4	220301-98035 АКУ.2	Реферат	1	1	
	3	A4	220301-98035 АКУ.3	Автоматизация. Пояснительная записка	100	1	
	4	A1	220301-98035 АКУ.4	Схема функциональная автоматизации	1	1	
	5	A1	220301-98035 АКУ.5	Схема технической структуры комплекса технических средств	2	1	
	6	A1	220301-98035 АКУ.6	Схема функциональная регулятора температуры пара	1	1	
	7	A1	220301-98035 АКУ.7	Схема принципиальная электрических соединений элементов КТС	2	1	
	8	A1	220301-98035 АКУ.8	Схема технологических защит	1	1	
7	8	70	64	8	8	20	
Основная надпись (штамп) – Приложение 17							

## Пример реферата

### Реферат

Проект 85 с., 2 кн., 24 рис., 12 табл., 50 источников, 2 прил.

ТЭЦ-1 ЧЕПЕЦКОГО МЕХАНИЧЕСКОГО ЗАВОДА, КОТЕЛ ЦКТИ-75-39Ф2, ПРОЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ, РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПАРА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПТК СПЕКОН СК.

Объектом автоматизации является котел ЦКТИ-75-39Ф2 ТЭЦ-1 Чепецкого механического завода.

Цель работы – модернизация АСУТП котельной установки с детальной разработкой системы регулирования температуры свежего пара.

Выполнены исследования двух вариантов системы регулирования температуры пара на математической модели. Определены параметры настройки регуляторов.

В результате исследования выбран более эффективный двухконтурный вариант регулирования.

В качестве технических средств автоматизации выбран ПТК СПЕКОН СК.

Внедрение предполагается на котлах ст. №№ 12, 13 ТЭЦ-1 ЧМЗ.

### Пример схемы взаимодействия параметров

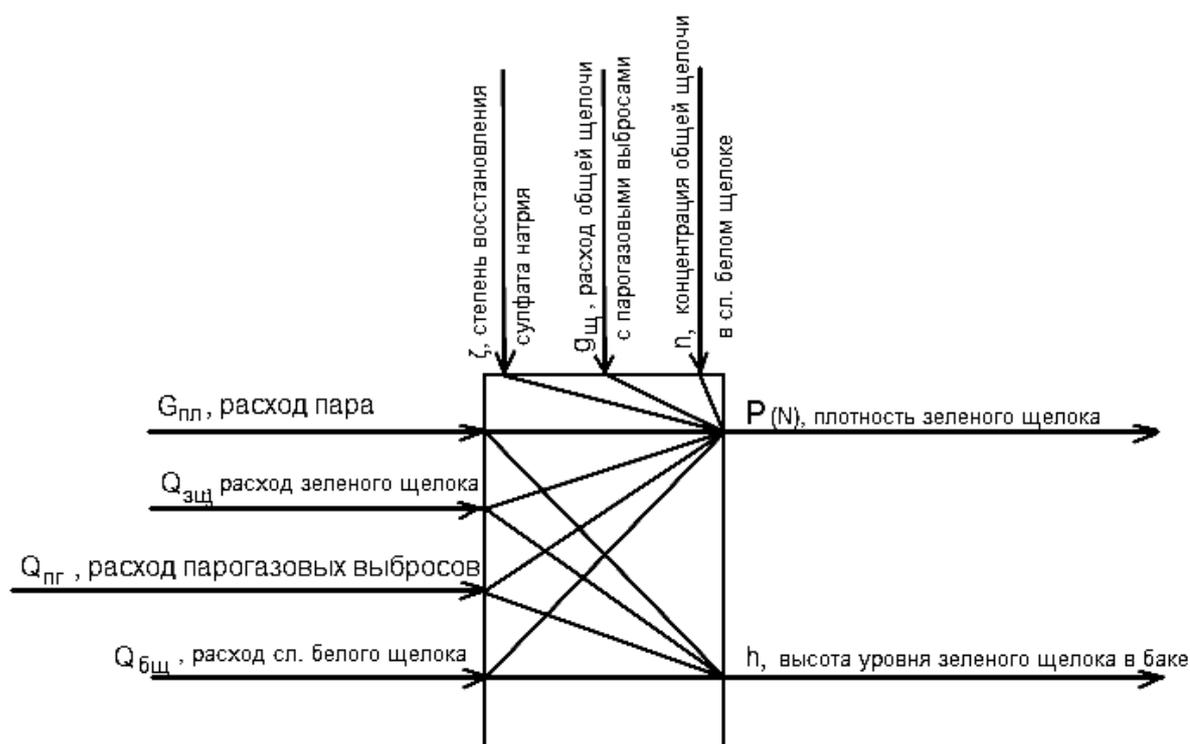


Схема взаимосвязи между параметрами процесса получения зеленого щелока

$G_{пл}$  – массовый расход пара, кг/ч;

$P$  – плотность зеленого щелока, кг/м<sup>3</sup>;

$n$  – концентрация общей щелочи в слабом белом щелоке кг/м<sup>3</sup>;

$Q_{бщ}$  – объемный расход белого щелока, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{зщ}$  – расход зеленого щелока в баке – растворителе плава, м<sup>3</sup>/ч;

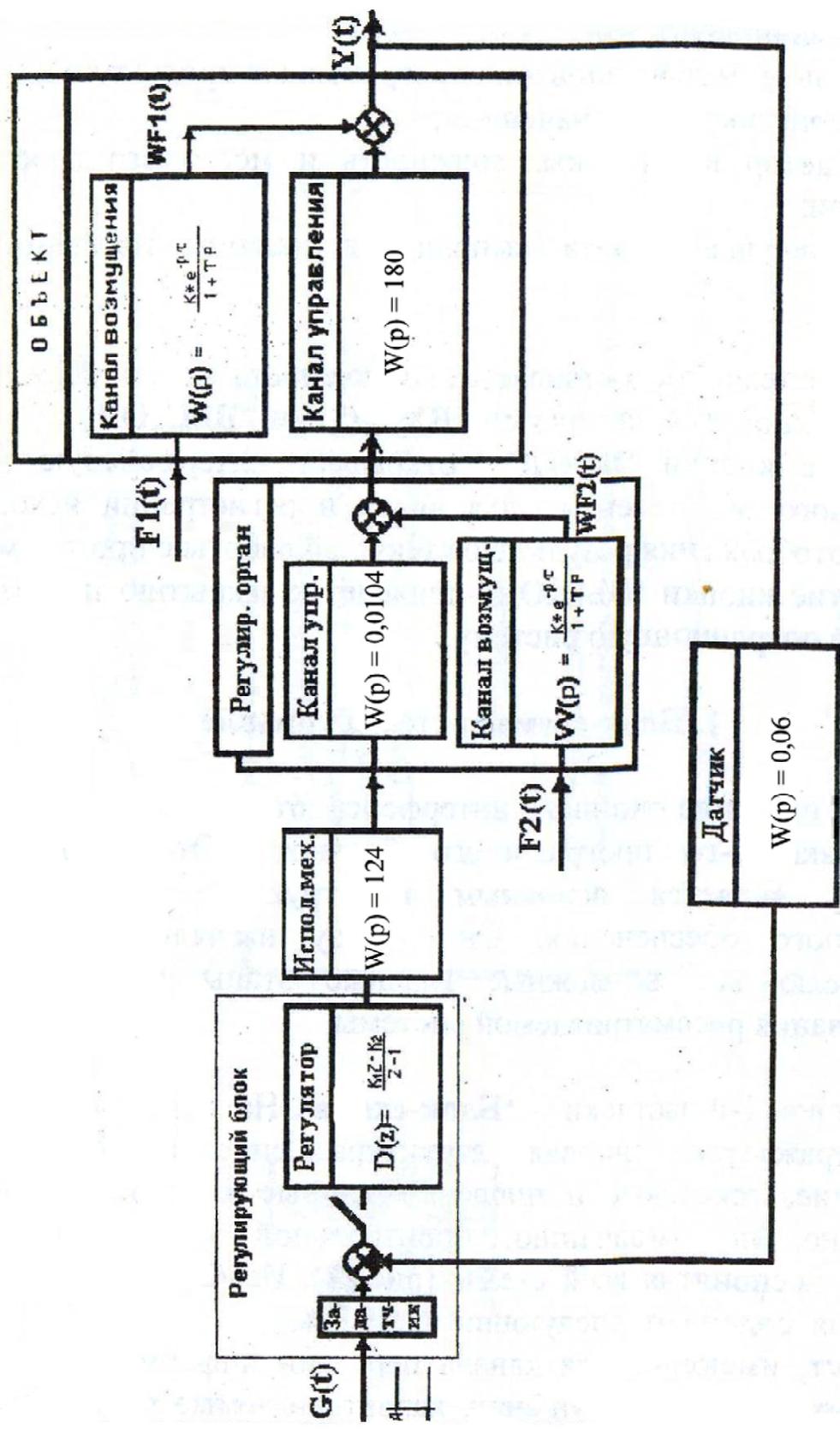
$Q_{щ}$  – объемный расход зеленого щелока, м<sup>3</sup>/ч;

$h$  – высота уровня зеленого щелока в баке, м;

$\zeta$  – степень восстановления сульфата натрия;

$V_p$  – расход черного щелока на сжигание, рабочая масса, кг/ч.

Пример схемы системы управления



## Примеры рисунков, иллюстрирующих расчет САУ

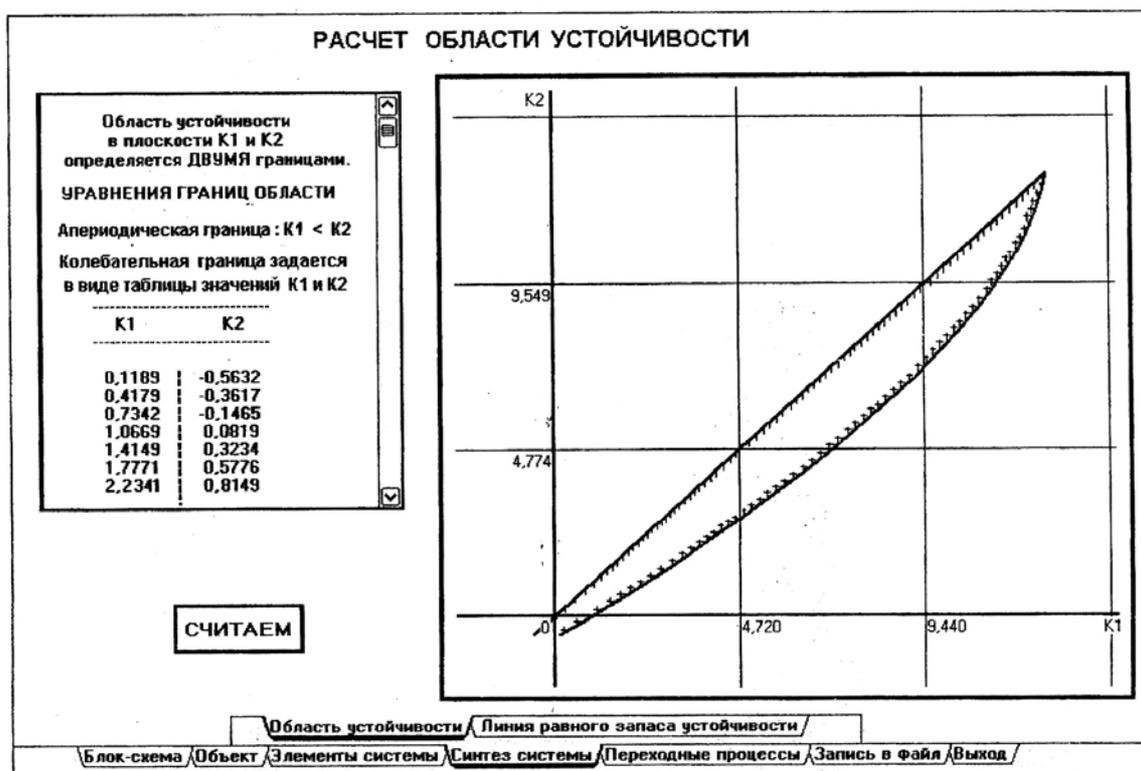


Рис.П7.1. Расчет запаса устойчивости

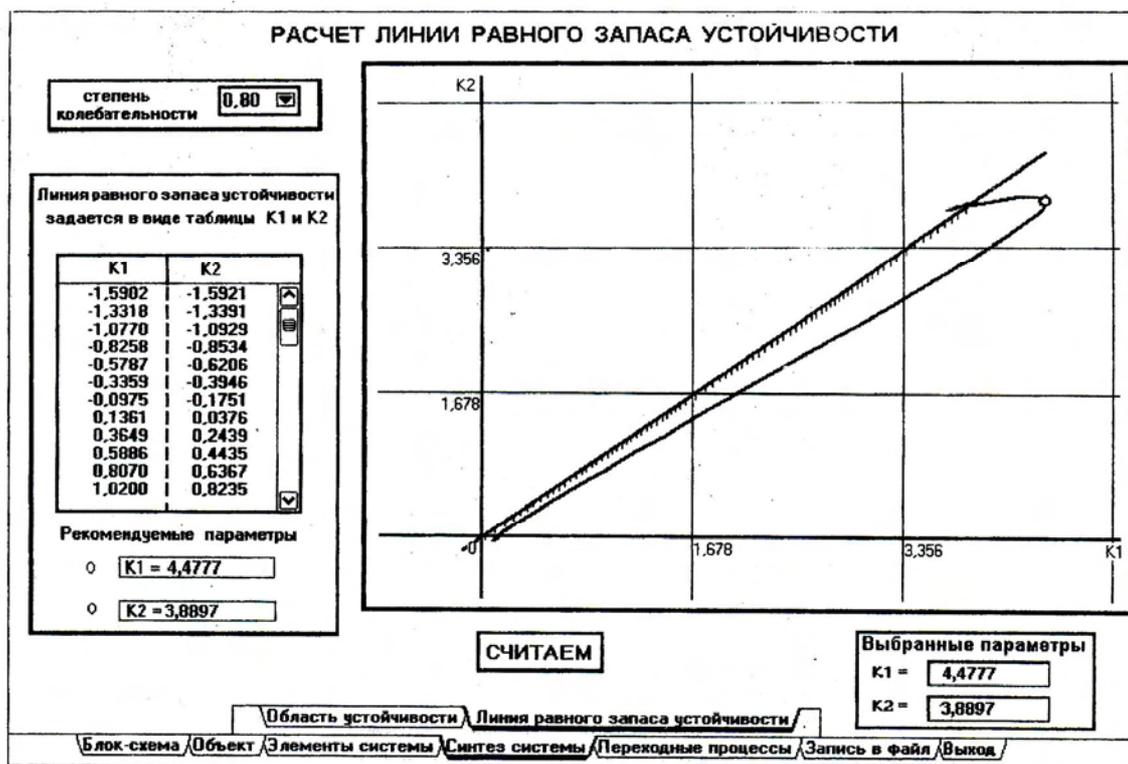


Рис.П.7.2. Расчет линии равного запаса устойчивости

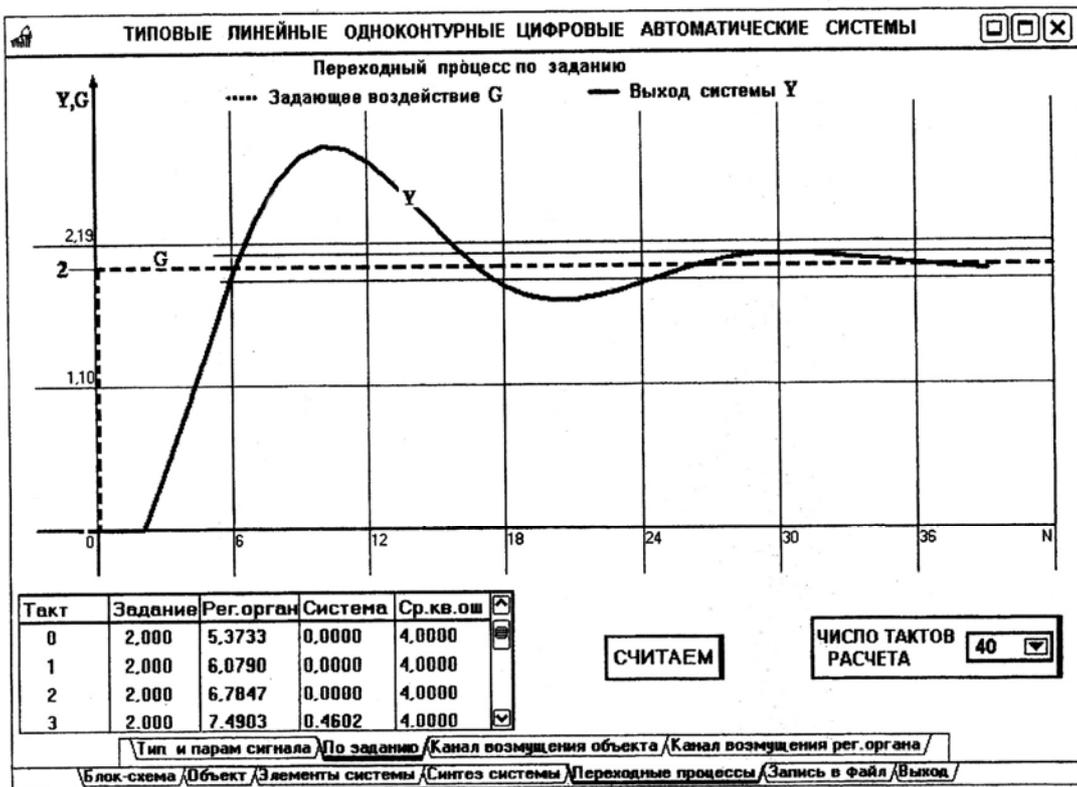


Рис.П.7.3. График переходного процесса по заданию

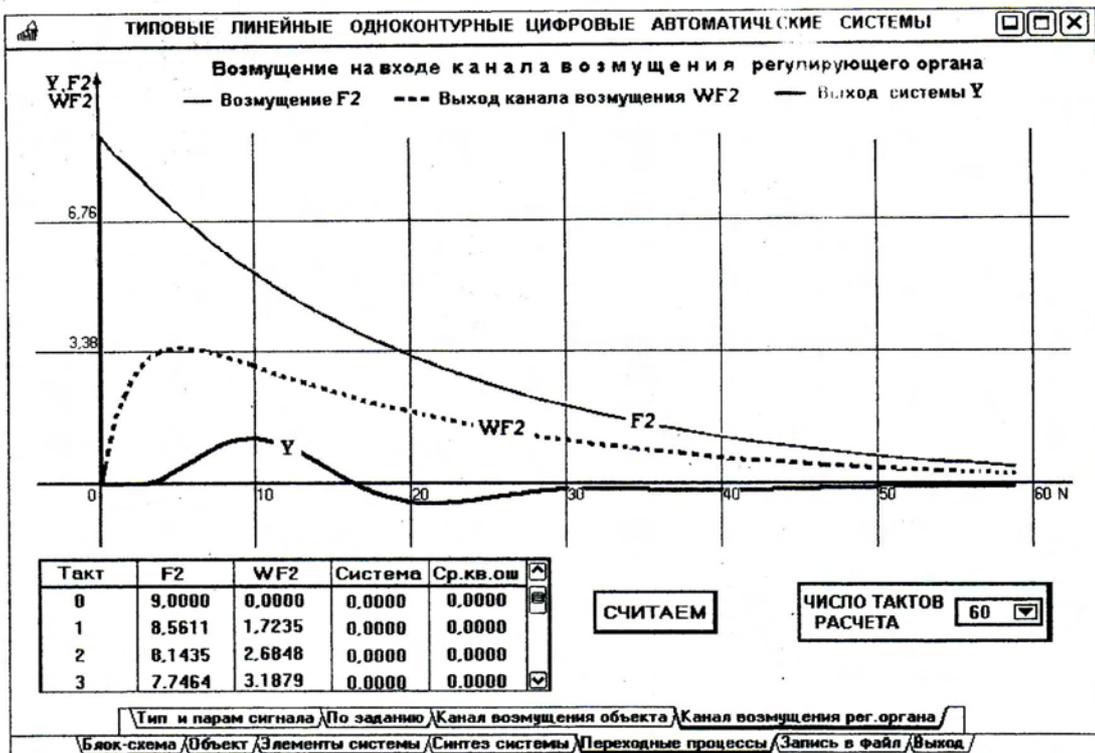


Рис.П.7.4. Графики переходных процессов по возмущению

### Пример графиков переходных процессов



Рис.П.8.1. Переходный процесс при возмущении на выходе канала возмущения объекта (система астатическая, линейная)

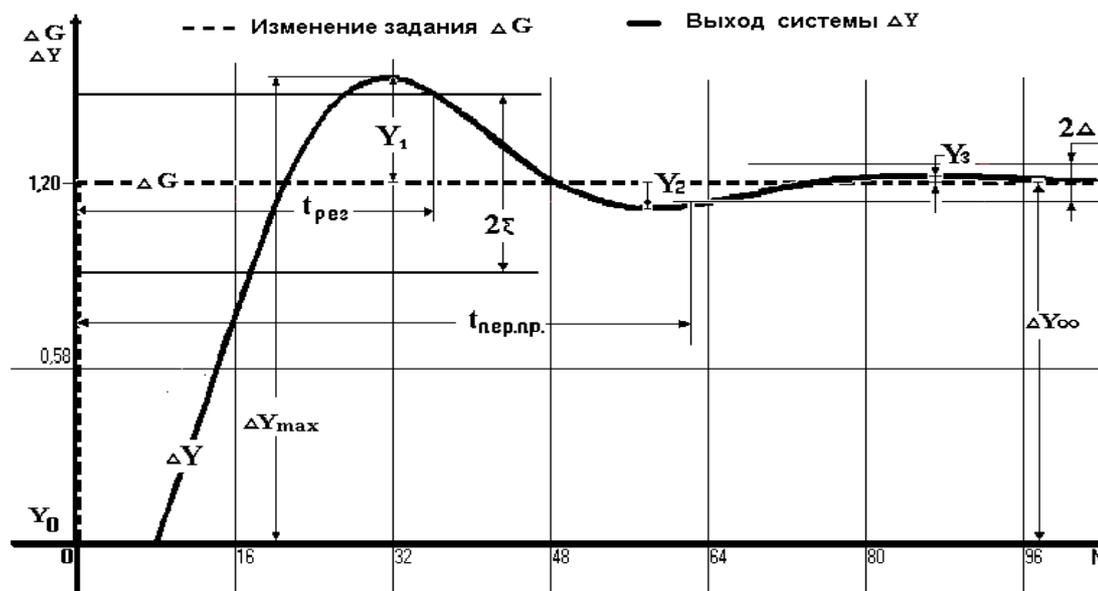
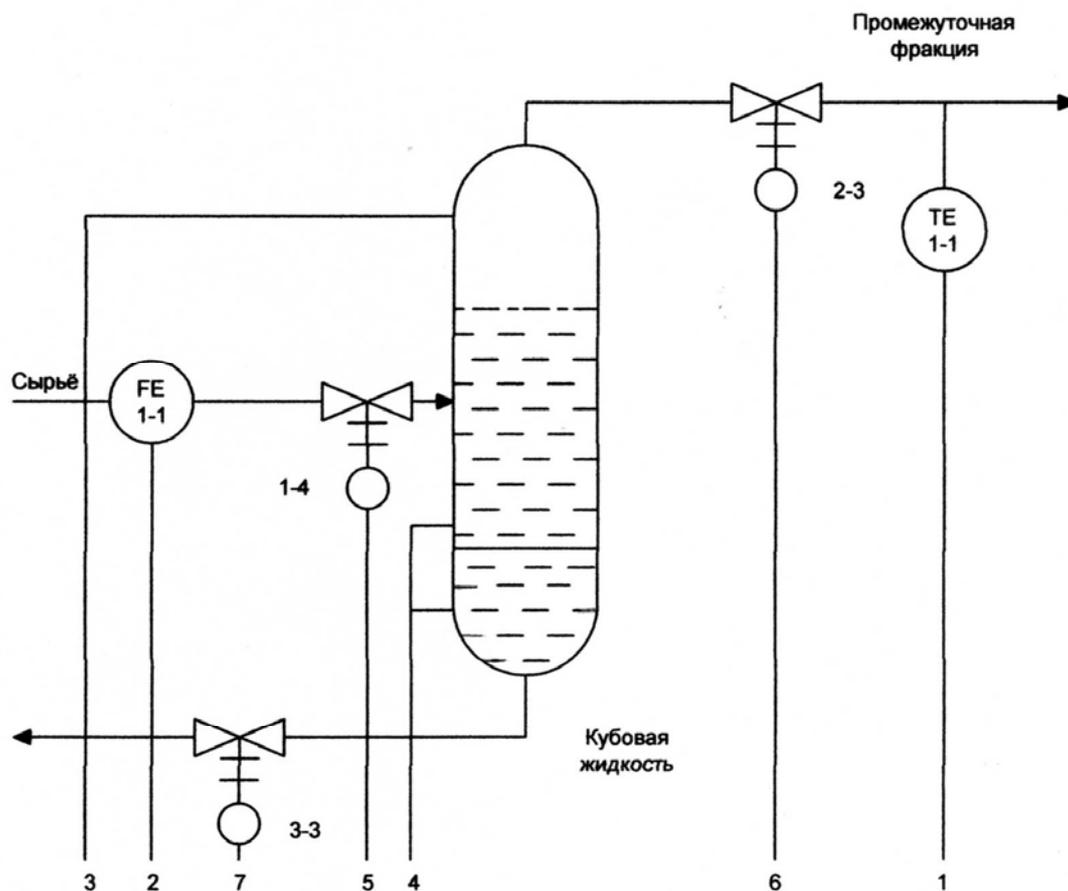


Рис.П.8.2. Переходный процесс при изменении задающего воздействия (система астатическая, линейная)

**Пример выполнения функциональной схемы автоматизации, реализованной на программно-техническом комплексе**



		1	2	3	4	5	6	7	
Приборы по месту			FT 1-2	PT 2-1	LT 3-1	NS 1-3	NS 2-2	NS 3-2	
Пульт управления	Низковольтные коммутирующие устройства	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	
	Устр-во управления	Защита	○	○	○	○	○	○	○
		Регулирование	○	○	○	○	○	○	○
		Логическое управление					○	○	○
	Средства отображения информации	Измерение	○	○	○	○			
			Регистрация	○	○	○			
Сигнализация						○			
		Контроль параметров				Регулирование			

Приложение 10

Пример функциональной структуры АСУТП

