

Кафедра «Автоматизированные процессы и машины бесстружковой обработки материалов»

*О.В. Дорофеев, Г.П. Короткий, К.И. Капырин*

## АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Методические указания  
по выполнению курсовой работы

Дисциплина - "Теория автоматического управления"

Направление подготовки - 220200 "Автоматизация и управление"

Специальность – 220301 "Автоматизация технологических процессов и производств"

Печатается по решению редакционно-издательского совета ОрелГТУ

Орел 2007

Авторы: доцент кафедры «Автопласт»,  
кандидат технических наук О.В. Дорофеев  
доцент кафедры «Автопласт»,  
кандидат технических наук Г.П. Короткий  
доцент кафедры «Автопласт»,  
кандидат технических наук К.И. Капырин

Рецензент: профессор кафедры «Автопласт»,  
доктор технических наук, С.И. Вдовин

В настоящих методических указаниях излагаются основные требования, предъявляемые к курсовой работе, а также порядок выполнения курсовой работы, правила оформления, приводятся рекомендации по расчету отдельных частей работы.

Методические указания предназначены для студентов специальности 220301 "Автоматизация технологических процессов и производств", а так же направления подготовки бакалавров 220200 "Автоматизация и управление".

Редактор Т.Д. Васильева  
Технический редактор

Орловский государственный технический университет

Лицензия ИД №00670 от 05.01.2000 г.

Подписано к печати. Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Уч. изд. л.3.3 Усл. печ. л. Тираж экз.

Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета  
на полиграфической базе ОрелГТУ,  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.

□ ОрелГТУ, 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

1 Задачи курсового проектирования 5

2 Содержание и объем курсовой работы 5

3 Оформление курсовой работы 5

4 Методика выполнения курсовой работы 9

4.1 Выбор и обоснование функциональной схемы САУ  
заданным объектом 9

4.2 Составление математической модели объекта управления  
и элементов САУ..... 10

4.3 Расчет динамики проектируемой системы 12

4.3.1 Задачи динамического расчета САУ 12

4.3.2 Синтез корректирующих устройств проектируемой системы 12

4.3.3. Выбор промышленного регулятора и его настроек 14

4.3.4. Расчет переходных процессов в САУ 14

5 Указания по выполнению курсовой работы 15

5.1 Задание для курсовой работы 15

5.2 Указания по расчету линейной системы 16

5.3 Указания по расчету нелинейной системы. 21

5.3.1 Определение параметров симметрических автоколебаний по  
логарифмическим характеристикам..... 21

Приложение А. Образец титульного листа расчетно-пояснительной записки 24

Приложение Б. Требования к реферату 25

Приложение В. Передаточные функции и схемы элементов  
(корректирующих устройств) САУ 26

Литература 46

## ВВЕДЕНИЕ

Курсовое проектирование для студентов специальности 220301 "Автоматизация технологических процессов и производств" и направления 220200 "Автоматизация и управление", изучающих дисциплину "Теория автоматического управления", является одним из этапов получения профессиональных знаний и навыков в области методов математического моделирования, анализа и синтеза систем автоматического управления технологическими процессами.

Теория автоматического управления – это научная и техническая дисциплина, которая изучает общие принципы системной организации на основе построения математических моделей объектов и систем автоматического управления (САУ). Это позволяет оценивать характеристики и свойства проектируемых систем, создавать системы, отвечающие заданным требованиям качества.

Анализ САУ - исследование системы управления путем построения ее математической модели и изучения свойств этой модели. Анализ проводится с целью выяснения вопроса о том, способна ли в принципе модель САУ решать задачу управления, и если нет, то какими методами и средствами ее можно сделать работоспособной.

Синтез САУ (теоретическое конструирование) – это построение модели системы управления, обеспечивающей требуемое поведение объекта управления.

## 1 ЗАДАЧИ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Курсовое проектирование является одним из важнейших этапов изучения студентами дисциплины "Теория автоматического управления".

Цели курсового проектирования:

- систематизировать, закрепить, углубить и расширить знания студента в вопросах проектирования систем автоматического управления;
- научить студента самостоятельно пользоваться технической литературой, различного рода справочниками, стандартами, нормативными материалами и другими пособиями;
- научить студента самостоятельно решать задачи, связанные с разработкой и инженерными расчетами систем автоматического управления.

Работа над курсовым проектом (курсовой работой) является хорошей подготовкой студента к выполнению в будущем дипломного проекта.

## 2 СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовой проект (работа) состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка - это документ, содержащий описание разрабатываемых систем и устройств, принципа их действия, обоснование (с приведением необходимых инженерных расчетов) принятых технических и технико-экономических решений.

Содержание и объем пояснительной записки, а также графической части уточняются с руководителем проекта (работы), однако в каждом проекте (работе) должны быть представлены следующие вопросы:

- анализ процесса или устройства (установки) как объекта автоматического управления;
- получение математической модели объекта управления;
- выбор и обоснование схемы системы автоматического управления (регулирования) и её элементов на основании анализа существующих решений и требований к системе;
- статические и динамические расчеты проектируемой системы;
- необходимый иллюстрационный материал: схемы, рисунки, графики.

Объем пояснительной записки курсового проекта (работы) 30-50 страниц рукописного текста. Объем чертежно-графического материала в курсовом проекте должен

составлять 3 листа чертежей и графиков формата А1.

### **3 ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

3.1 Пояснительная записка к проекту (работе) должна быть написана на листах белой бумаги формата А4 с одной стороны с обязательным оставлением полей: левого - 30 мм, правого - не менее 10 мм, верхнего и нижнего не менее 20 мм. Все листы пояснительной записки, в том числе листы с рисунками и графиками, имеют сквозную нумерацию. Страницы нумеруются начиная с титульного листа. Номер страницы ставится в правом верхнем углу. Титульный лист выполняется по образцу, представленному в приложении А.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с новой страницы. Разделам присваиваются порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами с точкой после цифр. При наличии подразделов их номера состоят из номера раздела и порядкового номера подраздела с точкой между ними (например, 2.3 обозначает раздел 2, подраздел 3). Наименование разделов и подразделов должно быть кратким и соответствовать содержанию. Точки в конце заголовков не ставятся. В пояснительной записке материал следует излагать в определенной последовательности: титульный лист, реферат, содержание, задание, перечень сокращений и символов (при необходимости), и текст, выводы (заключение), список использованных источников.

3.2 Требования к реферату изложены в приложении Б.

3.3 В содержании приводится полное наименование разделов и подразделов с указанием соответствующих страниц.

3.4 Во введении излагается и формулируется задача, поставленная перед студентом, ее актуальность и народнохозяйственное значение применительно к конкретным условиям; показывается состояние и развитие рассматриваемого вопроса, обосновывается необходимость его решения и связь с народнохозяйственными задачами в области комплексной автоматизации различных технологических процессов, поясняется назначение и область применения проектируемой системы; дается краткий обзор отечественной и зарубежной литературы по данному вопросу. Введение занимает 2-3 страницы рукописного текста.

3.5 Выводы (заключение) в пояснительной записке должны отражать степень и качество выполненной студентом задачи, содержать основные результаты, полученные в процессе выполнения курсового проекта (работы), преимущества полученных решений.

3.6 Материал изложения пояснительной записки должен иметь логическую последовательность, быть аргументирован, конкретен, точен, лаконичен, не допускаются длинные рассуждения и повторения известных доказательств, но в то же время в записке должны содержаться необходимые комментарии. Пояснительная записка должна отражать глубину изучения студентом специальной литературы по данному вопросу, в ее тексте должны быть ссылки на используемые литературные источники.

Количество иллюстраций в пояснительной записке определяется содержанием курсового проекта (работы) и должно быть достаточным для полного пояснения сущности выполненной работы. Все иллюстрации (эскизы, схемы, графики, осциллограммы и т.п.) именуется рисунками, их нумеруют последовательно в пределах раздела арабскими цифрами и обозначают: Рисунок 1.1, Рисунок 3.2 и т.д. Первая цифра соответствует номеру раздела, вторая номеру рисунка в разделе. Рисунки

размещаются сразу же после ссылки на них в тексте записки и снабжаются подрисуночным текстом. Рисунки рекомендуется оформлять на белой бумаге формата А4 тушью или карандашом с четкими линиями. Графики должны иметь оцифрованные оси координат с указанием переменных и их размерностей, при этом стрелки на осях координат не проставляются. Кроме того, при выполнении курсового проекта студент обязан выполнить 3 листа чертежей формата А1. Содержание чертежей согласовывается с руководителем курсового проекта.

Следует обратить особое внимание на соблюдение требований единой системы конструкторской документации (ЕСКД), стандартов как при оформлении пояснительной записки, так и графической части.

Чертежи и схемы должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД.

Чертежи выполняются, как правило, на листах формата А1 с предпочтительным размещением основной надписи (углового штампа) параллельно большой стороне листа. Масштаб и степень детализации выбираются по условиям целесообразности. Чертежи должны быть наглядными и занимать весь лист. Не допускается выполнение чертежей в неестественно крупном масштабе.

Единицы измерений, их обозначение должны соответствовать Международной системе единиц (СИ).

Каждая таблица нумеруется в пределах раздела и имеет содержательный заголовок.

Расчеты и данные к ним должны сопровождаться краткими пояснениями и ссылками на литературу. При использовании какого-либо метода расчета формулы приводятся в буквенном выражении, а затем - в цифровом, результаты вычислений указываются с размерностями полученных величин. Многократно повторяющиеся расчеты приводятся только один раз, а результаты сводятся в таблицы.

Условные буквенные обозначения математических, физических и других величин должны соответствовать государственным стандартам. Индексы при переменных необходимо писать четко с тем, чтобы их не спутать с самими переменными. Формулы, на которые имеются ссылки в тексте, должны нумероваться в пределах раздела так же, как и рисунки и таблицы. Номер формулы заключается в скобки и помещается у правого поля на уровне нижней строки формулы, к которой он относится.

Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулы, должны быть приведены непосредственно после соответствующих выражений.

Ссылки в тексте на порядковый номер формулы даются в круглых скобках, например: "...по характеристическому уравнению (2.3) можно судить об устойчивости замкнутой автоматической системы управления...".

Когда в тексте записки приводится ряд цифровых величин одной размерности, единицы измерения указываются только в конце ряда, например: 13, 24, 27, 36, 38, 50, 100, 110, 175 Вт.

При ссылке на литературный источник следует указывать его порядковый номер по списку литературы, заключенный в квадратные скобки. В списке литературы источники следует располагать в порядке появления ссылок в тексте записки. Сведения о книгах должны включать фамилию и инициалы авторов, заглавие книги, место издания, наименование издательства и год издания, количество страниц в книге, например: 1. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического регулирования и управления/ В.А.

Бесекерский, Е.П. Попов. - М.: Наука, 1975. - 600 с.

2. Барковский, В.В. Методы синтеза систем управления/ В.В. Барковский, В.Н. Захаров, А.С. Шаталов. - М.: Машиностроение, 1981. - 278 с.

Сведения о журнальных статьях должны включать фамилию и инициалы авторов, заглавие статьи, наименование периодического издания, год выпуска, номер издания (журнала), номер страниц, на которых помещена статья, например:

Буров, А.Н. Аналитические приборы для управления технологи-ческими процессами// Приборы и системы управления. – 1977. - № 10. - С. 36-40.

#### **4 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Курсовое проектирование рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- изучить задание и исходные данные. На этом этапе необходимо четко и ясно представить назначение проектируемой системы, область ее применения, принцип работы, уяснить возможность реализации технических и эксплуатационных требований;
- изучить объект управления, физические процессы, протекающие в нем, уяснить способы управления, характер внешних воздействий, на основании этого составить математическую модель объекта управления и таким образом получить четкое представление о статических и динамических свойствах о нем;
- определить структуру проектируемой системы, произвести динами-ческие расчеты, оценить качество системы и проверить, удовлетворяет ли разрабатываемая система поставленным требованиям. При несоответствии заданным требованиям скорректировать систему. Расчеты заканчиваются построением переходного процесса в системе при воздействии на нее входного сигнала в виде единичного скачка и внешнего возмущения;
- сделать выводы (заключение) по выполненному проекту (работе). Они должны иметь содержательный характер, подчеркивать важность полученных результатов. Оформить расчетно-пояснительную записку и чертежно-графический материал в строгом соответствии с требованиями ЕСКД и существующих стандартов.

Выполнение курсового проекта (работы) осуществляется под руководством преподавателя, который оказывает помощь в оценке принимаемых решений и выборе методики расчета. Студент обязан систематически информировать руководителя о ходе работы над курсовым проектом (работой).

##### **4.1 Выбор и обоснование функциональной схемы САУ заданным объектом**

При выполнении данного раздела необходимо по материалам литературных источников дать краткую характеристику способов управления и произвести критический анализ существующих схем САУ объектами, аналогичными заданному. На основании проведенного анализа определяется функциональная схема системы, то есть устанавливаются функционально необходимые элементы системы и их взаимодействие: измерительные устройства (датчики), элементы сравнения заданного значе-ния регулируемой величины с ее действительными значениями, задающие устройства, усилители, управляющие устройства, исполнительные меха-низмы, исполнительные органы.

Выбор структуры функциональной схемы САУ во многом определя-ется особенностями объекта управления. Возможны два пути определения структуры САУ:

- использование в САУ промышленных регуляторов, исполнитель-ных механизмов, датчиков специального назначения;
- использование в САУ элементов общего (широкого) назначения.

#### 4.2 Составление математической модели объекта управления и элементов САУ

Математической моделью объекта управления, элементов системы и системы в целом называется совокупность формул, таблиц, графиков, количественно описывающих динамические процессы, протекающие в отдельных элементах системы и системе в целом.

При составлении математической модели, как правило, объект управления и другие элементы системы разбивают на простейшие звенья, составляют уравнения для каждого звена. Уравнения всех звеньев образуют единую систему. Совместное решение системы уравнений приводит к одному уравнению. Уравнение звена составляется таким образом, чтобы оно выражало в динамике (во времени) взаимосвязь между входными и выходными величинами и возмущениями.

Математическая модель объектов и элементов САУ необходима для исследования процессов управления, синтеза алгоритмов управления, оценки качества спроектированной системы. Методы получения математической модели объектов и элементов САУ делятся на аналитические и экспериментальные [1].

Аналитические методы основаны на изучении физических процессов, протекающих в отдельных элементах проектируемой системы, в результате чего составляется математическая модель как отдельных элементов САУ, так и системы в целом.

Методику составления математической модели отдельных элементов САУ целесообразно изучить на конкретных примерах. В ряде работ [2, с.54-60; 3, с. 82-92; 21, с. 4-36; 5; 11; 14] приведены примеры составления уравнений электрических элементов (сельсинов, газового дискриминатора, электромашинного усилителя, двигателя постоянного тока, генератора постоянного тока, тахогенератора и других элементов). В общем случае уравнения элементов САУ нелинейны, однако в ряде случаев они могут быть заменены приближенными, линейными, то есть может быть произведена линеаризация исходных уравнений. Линеаризация уравнений также позволяет получить нулевые начальные условия.

О способах проведения линеаризации можно ознакомиться в учебно-технической литературе по теории автоматического управления [5 (задача 1); 7 (задача 1.3.1); 10, с. 62-69, 73-75; 11, с. 49-52].

Во многих случаях объекты управления, элементы САУ описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями с правыми частями. В теории автоматического управления принята стандартная форма записи дифференциальных уравнений: выходная координата и ее производные записываются в левой части, причем на первом месте наивысшая производная выходной координаты. В правой части записываются входная координата, ее производные и другие переменные. В некоторых случаях наиболее удобна безразмерная форма записи уравнений [8, с. 35-36; 10, с. 67-71]. Значительно удобнее вести расчеты, используя передаточные функции звеньев.

Поэтому следующим этапом составления математической модели является определение передаточных функций линейных звеньев и системы в целом [8 - 11].

Получение математической модели объекта управления и других элементов САУ и тем более численных значений ее коэффициентов аналитическим путем, на основе анализа только физических процессов не всегда возможно. В этих случаях прибегают к экспериментальным исследованиям и на основе их результатов составляют математическую модель исследуемого объекта или элемента САУ.

В инженерной практике широко используется экспериментальный способ определения

кривой переходного процесса (кривой разгона) при воздействии на вход объекта (элемента системы) единичного скачка или единичного импульса (снятие импульсной переходной функции или функции веса). В последующем указанные кривые переходного процесса аппроксимируются дифференциальным уравнением.

Одним из методов получения дифференциального уравнения по кривой разгона, который можно рекомендовать студентам, является метод А.Н. Крылова. Данный метод [7, с. 113-115] используется, если есть основания предположить, что кривая разгона может быть аппроксимирована дифференциальным уравнением второго порядка. Дифференциальное уравнение и передаточная функция объекта управления и их коэффициенты могут быть определены по кривой разгона, построенной в полулогарифмических координатах по методу последовательного логарифмирования. Однако этот метод дает хорошие результаты лишь в случаях, когда характеристическое уравнение содержит лишь отрицательные корни, отличающиеся друг от друга не менее чем в 2 раза [15, с. 70-74].

Более универсальным является метод площадей, хотя он требует большого объема вычислительной работы [15, с. 60-67; 17 (задачи 1.64, 1.69); 16; 19]. Все расчеты можно произвести на ПЭВМ. Для оценочных расчетов можно использовать упрощенные методы определения дифференциальных уравнений и их коэффициентов [18, с. 18-23; 19, с. 235-245]. Во всех случаях аппроксимации кривой разгона дифференциальным уравнением представляется целесообразным построение переходного процесса по полученному дифференциальному уравнению, сопоставление его с исходной кривой разгона и оценки точности аппроксимации.

В некоторых случаях, если в результате аппроксимации кривой разгона полученное дифференциальное уравнение имеет высокий порядок, то его можно понизить. Некоторые способы понижения порядка дифференциальных уравнений рассмотрены в работах [7, с. 349-351; 20].

#### 4.3 Расчет динамики проектируемой системы

##### 4.3.1 Задачи динамического расчета САУ

Динамические расчеты проводятся после получения математической модели объекта управления и элементов САУ.

Коэффициент передачи (усиления) всей системы определяется на основе требований, предъявляемых к точности проектируемой системы [21, с. 63-68; 22, с. 86]. При оценке свойств проектируемой САУ, прежде всего, выясняют ее устойчивость. Оценка устойчивости системы является оценкой ее принципиальной способности осуществлять управление, поэтому с неё начинают исследование любой системы. Устойчивость системы определяют с помощью алгебраических или частотных критериев устойчивости. В инженерной практике для исследования устойчивости разрабатываемой системы широко используется частотный критерий устойчивости Найквиста. Это объясняется тем, что устойчивость замкнутой системы можно исследовать по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы, построение которых не требует трудоемких расчетов. Кроме того, с помощью логарифмических частотных характеристик удобно определить запасы устойчивости проектируемой системы по фазе и амплитуде.

Если исследуемая система устойчива и обладает приемлемыми запасами устойчивости, то построением переходного процесса необходимо проверить такие важные показатели качества, как длительность переходного процесса, величина перерегулирования,



колебательность и другие, которые определены заданием на разработку системы. В случае невыполнения требований, предъявленных к системе, необходимо ввести в проектируемую систему специальные корректирующие устройства, с помощью которых обеспечивается совокупность заданных динамических характеристик системы.

#### 4.3.2 Синтез корректирующих устройств проектируемой системы

Под синтезом системы автоматического управления понимается процесс нахождения ее структуры и параметров проектируемой системы (или ее части) по заданным техническим требованиям. Задача синтеза, как правило, решается неоднозначно, поэтому ее необходимо рассматривать прежде всего как инженерную задачу, поскольку она тесно связана с технической реализацией полученных инженерных расчетов, то есть с выбором конкретных элементов систем, выпускаемых промышленностью, способами их включения и т.п.

Проектирование системы начинается с определения принципиально необходимых элементов системы, без которых ее функционирование невозможно, то есть с определения неизменяемой части системы. В процессе синтеза выявляются те элементы, которые необходимо ввести в проектируемую систему с тем, чтобы она соответствовала заданным требованиям. Таким образом, решаются вопросы коррекции системы автоматического управления с помощью так называемых корректирующих устройств.

Основное назначение коррекции САУ - изменение динамических свойств системы с целью обеспечения требуемых показателей качества процесса управления (запасов устойчивости, точности, времени регулирования и т.п.). В зависимости от способа включения корректирующего устройства в цепь замкнутой системы различают последовательную, встречно-параллельную и параллельную коррекции.

Последовательная коррекция позволяет ввести в закон управления составляющие, пропорциональные производным и интегралу от сигнала ошибки. Составляющие, пропорциональные производным, уменьшают время регулирования, но увеличивают чувствительность системы к помехам, а составляющие, пропорциональные интегралу, повышают точность, но уменьшают запасы устойчивости.

Встречно-параллельная коррекция, осуществляемая путем включения в систему местной обратной связи, позволяет обычно при жесткой обратной связи уменьшить время регулирования, а при гибкой обратной связи - колебательность переходного процесса, то есть приблизить его к монотонному.

В некоторых случаях применяют параллельную коррекцию с помощью подключения корректирующего устройства параллельно одному из элементов системы.

Наиболее распространенным методом синтеза последовательных, встречно-параллельных и параллельных корректирующих элементов является метод, основанный на применении логарифмических частотных характеристик разомкнутой цепи. Синтез по указанному методу производится в несколько этапов:

- строится логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) нескорректированной системы;
- строится желаемая ЛАЧХ по заданным показателям качества системы (перерегулирование, время регулирования, ошибка в установившемся режиме);
- определяется ЛАЧХ корректирующего устройства, по виду полученной ЛАЧХ, с помощью таблиц (приложение В) подбирают электрическую схему и вычисляют параметры корректирующего устройства;

- оцениваются качественные показатели скорректированной системы путем построения ее переходного процесса.

Если по таблицам не удастся подобрать необходимое корректирующее устройство, то следует перейти к другому виду коррекции. Например, если в начальном варианте была принята последовательная кор-рекция, то можно перейти к параллельной либо смешанной коррекции, то есть к последо-вательно-параллельной коррекции. В ряде случаев удовлетворительное качество системы может быть получено при введении нелинейных корректирующих устройств.

Сведения о способах построения желаемой ЛАЧХ приведены в учебниках и учебных пособиях [5 (задача 266); 8, с. 221-224; 10, с. 250-255; 22, с. 45-77], а также в приложении В.

#### 4.3.3. Выбор промышленного регулятора и его настроек

Промышленные регуляторы, как правило, применяются для управления инерционными объектами. Под выбором регулятора прежде всего понимают выбор закона (алгоритма) управления, однако немаловажную роль играют и другие характеристики регулятора: согласование его с объектом управления и другими элементами САУ, конструктивное оформление и т.п.

Синтез САУ с промышленным регулятором сводится к определению оптимальных значений параметров алгоритма управления (настроек регулятора) и производится примерно в следующей последовательности:

- исходя из математической модели объекта в соответствии требова-ниями к САУ, определяется алгоритм управления;
- рассчитываются оптимальные параметры настройки регуляторов;
- выбирается подходящий (из номенклатуры, выпускаемой приборо-строительной промышленностью) регулятор. Нужно обязательно убедиться, что значения параметров настроек могут быть установлены на конкретном регуляторе. Расчет заканчивается построением переходных процессов в САУ и оценкой качественных показателей. При выборе конкретного промышленного регулятора и расчете его настроечных параметров можно воспользоваться рекомендациями, приведенными в технической литературе по теории автоматического управления [10, 15, 16, 17, 24].

Справочные данные о промышленных регуляторах, исполнительных механизмах, датчиках для различных технологических процессов приведены в работах [25, 26].

Кроме релейных (позиционных) регуляторов, регуляторов непрерывного действия и импульсных регуляторов в настоя-щее время в различных отраслях промышленности начали внедряться новые регулирующие устройства - цифровые автоматические регуляторы. Эти регуляторы состоят из вычислительных и устройств связи с объектом. Они позволяют значительно повысить качество систем управления.

#### 4.3.4. Расчет переходных процессов в САУ

Построение переходных процессов в САУ является завершающим этапом проектирования системы. Существует три группы методов построения переходных процессов: аналитические, графоаналитические и численные.

Аналитические методы построения переходных процессов основаны на решении дифференциального уравнения, описывающего движение системы. Они используются для систем невысокого порядка.

Широкое распространение получили приближенные графические и графоаналитические методы с использованием вещественных частотных характеристик.

Большую роль в разработке, пропаганде и развитии этих методов сыграли оригинальные труды В.В. Солодовникова (метод трапеций) и А.А. Воронова (метод треугольников). Применение указанных методов позволяет определить такие важные показатели качества, как быстродействие, перерегулирование, колебательность процесса. Эти вопросы достаточно хорошо освещены в учебно-технической литературе, и имеется большое количество вспомогательных таблиц и графиков, что в значительной степени упростило инженерные расчеты [8, 9, 10, 11, 12].

В настоящее время с появлением ПЭВМ особое значение приобрели численные методы построения переходных процессов, основанные на применении пакетов прикладных программ.

В реальных системах возмущающее и в ряде случаев управляющее воздействия являются случайными функциями времени. При проведении инженерных расчетов с целью их упрощения принимают некоторые типовые воздействия в виде единичной ступенчатой функции и единичной импульсной функции. Для построения переходного процесса в следящих системах принимается также типовое воздействие в виде линейно изменяющейся функции времени.

Построение графика переходного процесса должно быть выполнено на листах белой бумаги формата А4 с нанесением на графики сетки. Выходная координата откладывается по оси ординат в натуральных единицах измерения.

## **5 УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

### **5.1 Задание для курсовой работы**

5.1.1 Определение передаточной функции разомкнутой, замкнутой систем и требуемого коэффициента усиления разомкнутой системы.

5.1.2 Построение логарифмической амплитудной и фазовой характеристик исходной (нескорректированной) САУ по передаточным функциям звеньев разомкнутой системы.

5.1.3 Анализ устойчивости исходной САУ по логарифмическим критериям.

5.1.4 Определение параметров и построение желаемой ЛАЧХ.

5.1.5 Определение ЛАЧХ корректирующего устройства по ЛАЧХ исходной системы и желаемой ЛАЧХ.

5.1.6 Установление параметров передаточной функции корректирующего устройства по параметрам ее ЛАЧХ.

5.1.7 Построение переходного процесса с использованием ПЭВМ и оценка качества регулирования скорректированной САУ.

5.1.8 Исследование динамики САУ с учетом нелинейности.

- а) нахождение коэффициента гармонической линеаризации нелинейного элемента;
- б) построение логарифмических характеристик линейной и нелинейной частей;
- в) нахождение параметров автоколебаний нелинейной системы (амплитуды и частоты, если таковые имеются в системе);
- г) оценка устойчивости автоколебательных режимов в нелинейной системе.

продолжение будет 18 марта 2009года