

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

В.И. Устич

АДАПТИВНЫЕ И ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Учебно–методическое пособие к практическим занятиям
для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2018

УДК 681.513.5, 681.513.6

РЕЦЕНЗЕНТ

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации
производственных процессов ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический " университет»

Устич, В.И.

Адаптивные и оптимальные системы управления: учебно–методическое пособие к практическим занятиям/ В.И. Устич. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. - 19 с.

В настоящем пособии приведены темы практических занятий, методические указания по подготовки к ним, а также теоретические сведения по темам практических занятий.

Ил. 1, список лит. – 4 наименования

Учебно–методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию кафедрой автоматизации производственных процессов ФГБОУ ВО "Калининградский государственный технический университет» 28 сентября 2018 г., протокол № 01

Учебно–методическое пособие одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией факультета автоматизации производства и управления ФГБОУ ВО "Калининградский государственный технический университет» 10 октября 2018 г., протокол № 01

УДК 681.513.5, 681.513.6

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
"Калининградский государственный
технический университет", 2018 г.
© Устич В.И., 2018 г.

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО – МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Целью освоения дисциплины «Адаптивные и оптимальные системы управления» является формирование знаний и навыков по анализу, синтезу и практическому использованию адаптивных и оптимальных систем управления (АиОСУ).

Задачи изучения дисциплины:

- формирование базовых понятий об области использования, преимуществах и принципах построения АиОСУ;
- приобретение теоретических знаний и практических навыков по анализу и синтезу АиОСУ;
- приобретение практических навыков эксплуатации АиОСУ, реализованных на базе микроконтроллеров (программируемых логических контроллеров).

Дисциплина «Адаптивные и оптимальные системы управления» входит в состав профессионального модуля по выбору студента «Эксплуатация систем автоматизации технологических процессов и производств» (МВ1) вариативной части образовательной программы бакалавриата по направлению 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств.

Дисциплина опирается на компетенции, полученные при изучении таких дисциплин, как: «Теория автоматического управления», «Системы автоматизации и управления технологическими процессами», «Моделирование систем и процессов».

Результаты освоения дисциплины могут быть использованы при выполнении выпускной квалификационной работы, а также в дальнейшей профессиональной деятельности обучающегося.

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- методологические основы функционирования и синтеза адаптивных и оптимальных систем автоматического управления (САУ);
- основные способы синтеза адаптивных и оптимальных САУ;

уметь:

- проводить анализ адаптивных и оптимальных САУ;
- выбирать средства при проектировании адаптивных и оптимальных САУ, программировать и отлаживать системы на базе микроконтроллеров;
- определять показатели качества функционирования САУ, рассчитывать основные характеристики и оптимальные режимы работы;

владеть:

- навыками построения систем автоматического управления системами и процессами;
- навыками наладки, настройки и обслуживания технических средств и систем

Современные системы автоматизации технологических процессов в значительной мере базируются на микропроцессорных вычислительных устройствах и, в частности, регулирующих контроллерах. Микропроцессорные контроллеры представляют собой программно-технические средства автоматизации коллективного пользования, что позволяет применять их как для создания локальных систем управления технологическими объектами управления (ТОУ) с небольшим количеством регулируемых координат, так и для построения распределенных АСУ ТП большой информационной мощности.

Относительно низкая стоимость микропроцессорных устройств (МПУ), высокая надежность, малые габариты позволяют устанавливать их непосредственно на объектах или их частях, создавая системы с более высоким быстродействием и повышенной живучестью, возможностью разделения общей функции управления и обработки информации на несколько слабосвязанных функций и распределение этих функций между несколькими МПУ в режиме реального времени. Разрабатываемая САУ должна обеспечивать наилучшие технические или технико-экономические показатели при заданных реальных условиях работы, т.е. являться оптимальной системой.

Дальнейшее совершенствование производственных и технологических процессов обусловлено усложнением задач управления при практической невозможности подробного изучения и описания процессов, протекающих в САУ. Соответственно появляются трудности в обеспечении заданного качества управления из-за уменьшения априорной информации о системе. Для преодоления этих трудностей применяют принцип адаптации. Адаптивными являются автоматические системы, в которых параметры управляющих воздействий или алгоритмы управления автоматически и целенаправленно изменяются для осуществления в каком-то смысле наилучшего управления объектом при случайном изменении его характеристик или внешних воздействий.

Подготовка студента к практическим занятиям по дисциплине, выполнение им индивидуальных заданий должна носить систематический характер. Основные рекомендации по изучению дисциплины приведены в рабочей программе по ней. Там же определен объем практических занятий по каждой теме (в часах) и их структура для очной и заочной формы обучения. Следует отметить, что для студентов заочной формы объем самостоятельной работы существенно выше, чем для очной.

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Критерии и задачи оптимизации АиОСУ. Ограничения фазовых координат и управления.
2. Синтез непрерывной оптимальной системы управления с использованием принципа максимума.
3. Синтез оптимальных непрерывных и цифровых систем с использованием уравнения Риккати.
4. Синтез наблюдателя состояния.
5. Синтез оптимальной системы на основе модального управления.
6. Реализация цифровых регуляторов в виде импульсных фильтров.
7. Синтез самонастраивающейся системы с использованием функций Ляпунова.
8. Синтез алгоритмов управления на основе обратных задач динамики.

Объем практических занятий по каждой теме (в часах) и их структура для очной и заочной формы обучения приведены в рабочей программе дисциплины.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

Критерии и задачи оптимизации АиОСУ. Ограничения фазовых координат и управления

1. Цель занятия: ознакомление с критериями, задачами оптимизации АиОСУ, накладываемыми ограничениями фазовых координат и управления.

2. Методические указания по подготовке к практическому занятию

2.1. Ознакомиться с критериями и задачами оптимизации АиОСУ, накладываемыми на систему ограничениями фазовых координат и управления (п. 3).

2.2. Привести примеры применения критериев и задач оптимизации для конкретных систем управления объектами (процессами).

3. Общие сведения о критериях и задачах оптимизации АиОСУ, накладываемых на систему ограничениями фазовых координат и управления.

3.1. В общем случае критерий управления (оптимизации) может быть записан в виде функционала:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} F(X, U, t) dt,$$

где X - фазовые координаты объекта;

U – управление;

t - время.

Подобные функционалы характеризуют качество управления в динамическом режиме. Наиболее часто рассматривается задача оптимизации “ X ” и “ U ” во время переходного процесса, например, минимума времени переходного процесса и минимума среднеквадратичной ошибки регулирования.

Примеры критериев оптимизации:

1. $J = T \rightarrow \min$; $J = \int_{t_0}^{t_1} dt$ - минимум времени переходного процесса (система оптимальна по быстродействию).

2. $J = \int_{t_0}^{t_k} E^2(t) dt$ - система оптимальна по точности в динамическом режиме при обработке ненулевых начальных условий или единичного задающего воздействия.

3. $J = \overline{E^2}(t)$ - система оптимальная по точности в вероятностном смысле.

Среднее значения квадрата ошибки системы используется при случайных сигналах.

4. $J = \int_{t_0}^{t_k} r \cdot u^2(t) dt$ - критерий, характеризующий затраты энергии или затраты на управление - система оптимальна по расходу энергии на управление ($r \in [0;1]$ – весовой коэффициент).

$$5. \quad J = \int_{t_0}^{t_k} r|u(t)|dt - \text{критерий, характеризующий расходы ресурсов (топлива)}$$

- система оптимальна по расходу ресурсов.

6. При оптимизации статических и динамических режимов многомерных объектов ставится задача получения минимума или максимума функции многих переменных, характеризующих качество работы объекта.

$$J = Q(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

где Q – функция, определяющая показатели качества;

x_i - переменные, характеризующие режим работы объекта.

$$7. \quad J = \sum_{i=1}^n F_i(x_{\text{вх}}, Y, U) - \text{функция пользы использования при оптимизации}$$

статических режимов.

$$8. \quad J = \sum_{i=1}^n g_i \cdot \Pi_i - C - \text{критерий, максимизирующий прибыль,}$$

где g_i - цена i -го продукта;

Π_i - производительность по i -му продукту;

C – затраты.

Этот критерий не всегда согласуется с частными критериями оптимизации.

9. В тех случаях, когда необходимо обеспечить наилучшую работу системы в наихудших условиях, используется *минимаксный* критерий (как правило, это векторный критерий).

$$J = [J_1, J_2, \dots, J_n].$$

10. В некоторых случаях векторный критерий может быть заменен обобщенным скалярным критерием.

$J = \sum_{i=1}^n (C_i / J_i)$ - функция, выражающая стоимость выигрыша от значения критерия “ J ”.

$$\text{Другая форма записи } J = \sum_{i=1}^n g_i \cdot J_i \text{ причем } \sum_{i=1}^n g_i = 1.$$

3.2. Критерии оптимизации могут быть различны, но в классическом вариационном исчислении различают три вида задач оптимизации:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} F(x, \dot{x}, t)dt - \text{задача Лагранжа};$$

$$J = \varphi(t_k) = \varphi_1(x(t_k)) - \text{задача Майера};$$

$$J = \int_{t_0}^{t_k} F(x, \dot{x}, t)dt + \varphi(x(t_1)) - \text{задача Больца}.$$

Задачи оптимального управления можно разделить:

1. По виду ограничений:

- классические (с ограничениями в виде равенств) $v_i(x, u, t) = 0$;

- неклассические (с ограничениями в виде неравенств) $v_i(x, u, t) \leq 0$.

К классическому виду относятся также изопериметрические ограничения (ограничение задается в виде интеграла) $\int_{t_0}^{t_k} G(x, u, t) dt = C$.

2. По характеру начальных и конечных условий:

- задачи со свободными и подвижными концами, когда начальное и конечное состояния задаются некоторыми множествами в фазовом пространстве;

- задачи с закрепленными (фиксированными) концами, когда начальное или конечное состояние задаются точками фазового пространства;

- с одним закрепленным и одним свободным (подвижным) концом.

3. По времени начала и конца процесса управления:

- процессы с фиксированным временем (начало и конец процесса заданы);

- процессы со свободным временем.

- по виду оптимизирующего функционала (см. ранее).

4. По наличию или отсутствию обратной связи в синтезированной системе:

- получение оптимального управления в функции переменных состояния (с обратной связью);

- получение оптимального управления в функции времени (программное управление – без обратной связи).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

Синтез непрерывной оптимальной системы управления с использованием принципа максимума

1. Цель занятия: получить практические навыки синтеза оптимальных систем с использованием принципа максимума.

2. Методические указания по подготовке к практическому занятию

2.1. Ознакомиться с теоретическими сведениями о принципе максимума и его применении для синтеза оптимальных систем (п. 3).

2.2. Получить у преподавателя индивидуальное задание №1.

2.3. Выполнить и защитить индивидуальное задание №1.

3. Общие сведения о синтезе непрерывной системы управления с использованием принципа максимума.

В общем виде цель управления для непрерывной системы состоит в минимизации функционала, представляющего задачу Больца:

$$J(y, u, t) = \int_{t_0}^{t_k} f_0(y(t), u(t), t) dt + \varphi(y(t_k), t_k),$$

где $y(t)$ – вектор фазовых координат;

$u(t)$ – вектор управления;

$f_0(y, u, t)$ – заданная векторная функция;

$t_0 \leq t \leq t_k$ – отрезок времени, на котором реализуется управление;

$\varphi(y(t_k), t_k)$ – терминальная составляющая функционала.

Частными случаями задачи Больца являются задачи Лагранжа (при отсутствии терминального функционала) и задача Майера (при отсутствии интегрального функционала) (практическое занятие №1).

На управление и фазовые координаты могут быть наложены соответствующие ограничения.

При решении задачи определяется функционал Гамильтона – Понтрягина:

$$H(y, u, \Psi_0, \Psi_i, t) = \Psi_0 f_0(y, u, t) + \Psi_1 f_1(y, u, t) + \dots + \Psi_n f_n(y, u, t) = \sum_{i=0}^n \Psi_i f_i(y, u, t),$$

где Ψ_i - вспомогательные функции;

$f(y, u, t)$ - заданная вектор-функция, описывающая движение объекта, причем:

$$\dot{y} = f(y(t), u(t), t).$$

Для определения оптимального управления необходимо найти максимум функции Гамильтона – Понтрягина, считая, что все остальные переменные являются параметрами.

При рассмотрении цифровых САУ цель управления представляется в виде суммы, а уравнение движения объекта - в разностной форме.

При подготовке могут использоваться примеры из соответствующих разделов [1].

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

Синтез оптимальных непрерывных и цифровых систем с использованием уравнения Риккати

1. Цель занятия: получить практические навыки синтеза оптимальных систем с использованием уравнения Риккати.

2. Методические указания по подготовке к практическому занятию

2.1. Ознакомиться с теоретическими сведениями о синтезе оптимальных систем с использованием уравнения Риккати (п. 3).

2.2. Получить у преподавателя индивидуальное задание №2.

2.3. Выполнить и защитить индивидуальное задание №2.

3. Общие сведения о синтезе оптимальных непрерывных и цифровых систем с использованием уравнения Риккати.

3.1. Для непрерывных систем линейный объект описывается векторным уравнением

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t).$$

В качестве критерия оптимизации используем критерий минимума функционала Больца

$$J = \int_{t_0}^{t_1} [x^T(t)R_1(t)x(t) + u^T R_2(t)u(t)]dt + x^T(t_1)P_1x(t_1),$$

где x – вектор переменных состояний;

u – вектор управления;

$R_1(t)$ - неотрицательно определённая симметричная матрица весовых коэффициентов при переменных состояниях;

$R_2(t)$ - положительно определённая симметричная матрица весовых коэффициентов при управлениях;

P_1 - неотрицательно определённая симметричная матрица весовых коэффициентов при конечных значениях переменных состояний.

Оптимальное управление для этого оптимизирующего функционала представляет собой линейную функцию фазовых координат:

$$u^0(t) = -F^0(t)x(t),$$

при этом $F^0(t) = R_2^{-1}(t)B^T(t)P(t)$,

где $P(t)$ - решение матричного дифференциального уравнения Риккати:

$$-\dot{P}(t) = P(t)A(t) + A^T(t)P(t) + P_1(t) - P(t)B(t)R_2^{-1}(t)B^T(t)P(t).$$

Граничные условия: $P(t_1) = P_1$.

В случае когда матрицы A , B , R_1 , R_2 , P_1 постоянны (объект стационарный), матрица P также постоянна и является решением алгебраического уравнения Риккати:

$$PA + A^T P + R_1 - PBR_2^{-1}B^T P = 0.$$

Тогда оптимальное управление имеет вид:

$$u^* = -F x^*, \\ F = R_2^{-1} B^T P.$$

Установившийся закон управления в общем случае приводит к асимптотической устойчивости системы с таким регулятором.

3.2. Для цифровых систем управления при квадратичном оптимизирующем функционале при отсутствии возмущений уравнение движения объекта задано в разностном виде:

$$x(i+1) = A_d(i)x(i) + B^d(i)u(i), \\ x(i_0) = x_0.$$

Квадратичный критерий оптимизации имеет вид:

$$J = \sum_{i=i_0}^i [x^T(i+1)R_1(i+1)x(i+1) + u^T(i)R_2(i)x(i)] + x^T(i)P_1(i).$$

Оптимальное управление для цифровых систем имеет вид:

$$u(i) = -F(i)x(i),$$

где $F(i) = \{R_2(i) + B_d^T(i)[R_1(i+1) + P(i+1)]B_d(i)\}^{-1} \times B_d^T(i) [R_1(i+1) + P(i+1)]A_d(i)$.

Как и в случае непрерывных систем, матрица $P(i)$ представляет собой решение уравнения Риккати:

$$P(i) = A_d^T(i)[R_1(i+1) + P(i+1)][A_d(i) - B_d(i)F(i)], \\ P(i_1) = P_1.$$

Уравнения удобно решать в обратном порядке. Значение $P(i+1)$ выбирают равным $P(i_1)$, где i_1 – достаточно большая величина. Если терминальная составляющая в функционале отсутствует, то $P(i_1)=P_1=0$.

При подготовке могут использоваться примеры из соответствующих разделов [1-3].

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

Синтез наблюдателя состояния

1. Цель занятия: получить практические навыки синтеза наблюдателя состояния.

2. Методические указания по подготовке к практическому занятию

2.1. Ознакомиться с теоретическими сведениями о наблюдателях, в том числе асимптотических (п. 3).

3. Общие сведения о наблюдателях.

Система, описываемая уравнением

$$\hat{x}(i+1) = \widehat{A}_d(i)\hat{x}(i) + \widehat{B}_d u(i) + K(i)y(i),$$

является наблюдателем полного порядка для системы

$$\begin{aligned}x(i+1) &= A_d(i)x(i) + B_d(i)u(i), \\ y(i) &= C_d(i)x(i),\end{aligned}$$

если из условия $\hat{x}(i_0) = x(i_0)$ вытекает, что $\hat{x}(i) = x(i)$ для всех $u(i)$, $i \geq i_0$, где $\hat{x}(i)$ – оценка вектора переменных состояния.

Система является наблюдателем, если справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned}\widehat{A}_d(i) &= A_d(i) - K(i)C_d(i), \\ \widehat{B}_d(i) &= B_d(i),\end{aligned}$$

где $K(i)$ теоретически является произвольной матрицей с переменными параметрами, однако практически ее выбор ограничивается, по крайней мере, условиями устойчивости получающегося наблюдателя.

Для аperiodических наблюдателей необходимо выполнение условия

$$(A_d - KC_d)^n = 0.$$

В этом случае при любом начальном значении ошибки восстановления последняя уменьшается до нуля не более чем за n шагов.

Если в системе выход y является скалярным, то матрица коэффициентов K имеет единственное решение для заданного множества полюсов наблюдателя. Для многомерных систем существует несколько различных матриц K , которые реализуют одно и то же расположение полюсов наблюдателя.

При подготовке могут использоваться примеры из соответствующих разделов [2, 3].

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

Синтез оптимальной системы на основе модального управления

1. Цель занятия: получить практические навыки синтеза оптимальной системы на основе модального управления.

2. Методические указания по подготовке к практическому занятию

2.1. Ознакомиться с теоретическими сведениями о модальном управлении и синтезе оптимальных систем на его основе (п. 3).

3. Общие сведения о модальном управлении.

Наряду с общими методами синтеза оптимальных законов управления для стационарных объектов всё большее применение находят методы, основанные на решении задачи размещения корней характеристического уравнения в желаемое положение. Этого можно добиться надлежащим выбором матрицы обратной связи по состоянию. Решение указанной задачи является предметом теории модального управления.

Если управление единственное, информация о переменных состояниях полная, то уравнение движения объекта записывается как

$$x(i+1) = A_d x(i) + B_d u(i),$$

где

$$A_d = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_n & a_{n-1} & a_{n-2} & \dots & a_1 \end{pmatrix}, \quad B_d = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Управление выбирается в виде линейной функции переменных состояний

$$u(i) = -F_d x(i).$$

Матрица F_d является матрицей – строкой $F_d = (f_1, f_2, f_3, \dots, f_n)$. Значения этих элементов определяются на основе соотношений:

$$\begin{aligned} f_1 &= \alpha_n - a_n, \\ f_2 &= \alpha_{n-1} - a_{n-1}, \\ &\dots, \\ f_n &= \alpha_1 - a_1, \end{aligned}$$

где α_i - коэффициенты желаемого характеристического уравнения

$$D_m(\lambda) = \lambda^n + \alpha_1 \lambda^{n-1} + \dots + \alpha_n = 0.$$

Примеры синтеза оптимальной системы на основе модального управления при использовании уравнений движений объекта, записанных в других формах, приведены в [2, 3].

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

Реализация цифровых регуляторов в виде импульсных фильтров

1. Цель занятия: получить практические навыки реализации цифровых регуляторов в виде импульсных фильтров.

2. Методические указания по подготовке к практическому занятию

2.1. Рекомендуется повторить соответствующие разделы курса «Теория автоматического управления» в части состава и функций элементов цифровой СУ, применения правил z – преобразования, форм записи передаточной функции цифрового регулятора.

2.2. Ознакомиться с теоретическими сведениями о реализации цифровых регуляторов (п. 3).

3. Общие сведения о построении цифровых регуляторов в виде импульсных фильтров.

При синтезе цифрового регулятора, прежде всего, необходимо убедиться в физической реализуемости его передаточной функции.

Реализация цифрового регулятора возможна как в виде импульсного фильтра, так и непосредственно на ЭВМ (в том числе на программируемом логическом контроллере).

Цифровой регулятор может быть реализован в виде последовательного импульсного фильтра, импульсного фильтра в цепи обратной связи или импульсного фильтра комбинированного типа. Выбор конкретного типа фильтра зависит от результатов анализа передаточной функции цифрового регулятора.

Для реализации регулятора в виде последовательного импульсного фильтра его передаточная функция $G_c(z)$ должна обладать следующими свойствами:

1. Число полюсов $G_c(z)$ должно быть больше числа нулей или равно ему;
2. Нули $G_c(z)$ являются произвольными;
3. Полюсы $G_c(z)$ должны быть простыми, действительными, положительными и меньше единицы.

Для реализации в виде импульсного фильтра в цепи обратной связи передаточная функция цифрового регулятора должна соответствовать следующим требованиям:

1. $G_c(z)$ должна иметь одинаковое число полюсов и нулей;
2. Полюсы $G_c(z)$ могут быть произвольными;
3. Нули $G_c(z)$ должны быть простыми, действительными, положительными и лежать внутри единичной окружности.

Любая физически реализуемая передаточная функция цифрового регулятора может быть представлена импульсным фильтром комбинированного типа.

При подготовке используются примеры из соответствующих разделов [4].

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7
Синтез самонастраивающейся системы с использованием
функций Ляпунова

1. Цель занятия: получить практические навыки синтеза самонастраивающихся систем.

2. Методические указания по подготовке к практическому занятию

2.1. Ознакомиться с теоретическими сведениями о синтезе самонастраивающихся систем (п. 3).

2.2. Получить у преподавателя индивидуальное задание №3.

2.3. Выполнить и защитить индивидуальное задание №3.

3. Общие сведения о синтезе самонастраивающихся систем.

Синтез основного контура самонастраивающейся системы осуществляется в соответствии с требованиями к синтезу оптимальных систем. Построение контура самонастройки предусматривает выполнение следующих этапов:

- анализ причин, обуславливающих применение контура самонастройки;
- выбор критерия самонастройки и принципа построения контура самонастройки;
- определение алгоритма идентификации;
- определение закона изменения настраиваемых параметров;
- разработка структуры модели или анализатора характеристик.

Определение закона изменения настраиваемых параметров производится с использованием функций Ляпунова. В этом случае могут быть поставлены следующие цели:

1. Обеспечение устойчивости процессов самонастройки;
2. Оптимизация процессов самонастройки по заданному критерию качества.

Подробная информация по построению самонастраивающихся систем приведена в [1].

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

Синтез алгоритмов управления на основе обратных задач динамики

1. Цель занятия: получить практические навыки синтеза алгоритмов управления.

2. Методические указания по подготовке к практическому занятию

2.1. Ознакомиться с теоретическими сведениями о синтезе алгоритмов управления на основе обратных задач динамики (п. 3).

3. Общие сведения о синтезе алгоритмов управления.

В математическом отношении содержание обратной задачи динамики равносильно синтезу алгоритма управления, при котором управляемая система обладает требуемыми динамическими характеристиками.

Объект управления описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_0 u(t)$$

или в операторной форме $A(p)y(t) = b_0 u(t)$,

при заданных начальных условиях $y^{(j)} = y_{j0}$.

Требуется найти управляющую функцию $u(t) = U_m(t)$, при которой движение системы из начального состояния проходит по назначенной траектории $y_m(t)$ при $t \geq 0$.

Уравнение $U_m(t)$ имеет вид:

$$U_m(t) = b_0^{-1} A(p) y_m(t).$$

Сравнение уравнений показывает, что математические операции вычисления $U_m(t)$ обратны соответствующим операциям модели объекта управления.

Соответствующая структурная схема системы управления представлена на рис. 1.

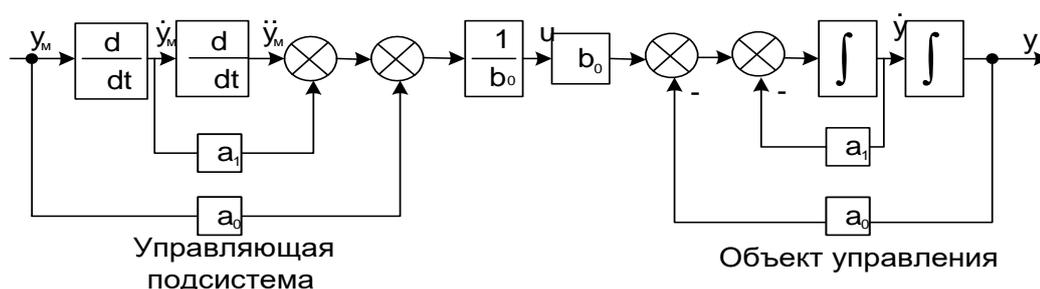


Рис. 1. Структурная схема системы управления

Этот пример соответствует концепции метода обратных задач динамики управляющих систем. Согласно этой концепции алгоритм формирования управляющей функции строится по принципу симметрии структуры.

Синтез подобного алгоритма управления позволяет однозначно определить структуру и параметры управляющей подсистемы, что приводит к управлению движением по разомкнутой схеме (без обратной связи).

Подробная информация по применению метода обратных задач динамики приведена в [1].

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сердобинцев, С.П. Теория автоматического управления: оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие для вузов/С.П. Сердобинцев – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2010. - 207 с.

2. Ким, Д.П. Теория автоматического управления: учебное пособие/Д.П. Ким. – 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Физматлит, 2007. – Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – 440 с. (ЭБС «Университетская библиотека онлайн»).

3. Ким, Д.П. Сборник задач по теории автоматического управления: учеб. пособие/Д.П. Ким. – Москва: Физматлит, 2008. – Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – 328 с. (ЭБС «Университетская библиотека онлайн»).

4. Топчеев, Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования/Ю.И. Топчеев – Москва: Машиностроение, 1989. – 752с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	3
ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	5
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. Критерии и задачи оптимизации АиОСУ. Ограничения фазовых координат и управления.....	6
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2. Синтез непрерывной оптимальной системы управления с использованием принципа максимума	9
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3. Синтез оптимальных непрерывных и цифровых систем с использованием уравнения Риккати	10
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4. Синтез наблюдателя состояния	12
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5. Синтез оптимальной системы на основе модального управления	13
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6. Реализация цифровых регуляторов в виде импульсных фильтров	14
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7. Синтез самонастраивающейся системы с использованием функций Ляпунова	15
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8. Синтез алгоритмов управления на основе обратных задач динамики	16
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	17

Учебное издание

Владимир Иванович УСТИЧ

АДАПТИВНЫЕ И ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Редактор Г. А. СМИРНОВА

Подписано в печать 11.10. 2018 г. Формат 60x84 (1/16). Уч.-изд. л. 1,4. Печ. л.1,9.
Тираж 50 экз. Заказ

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
"Калининградский государственный технический университет"
236022, Калининград, Советский проспект, 1