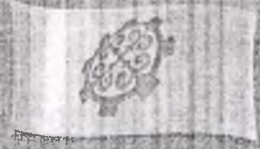


21

**Теоретический и прикладной
научно-технический журнал**

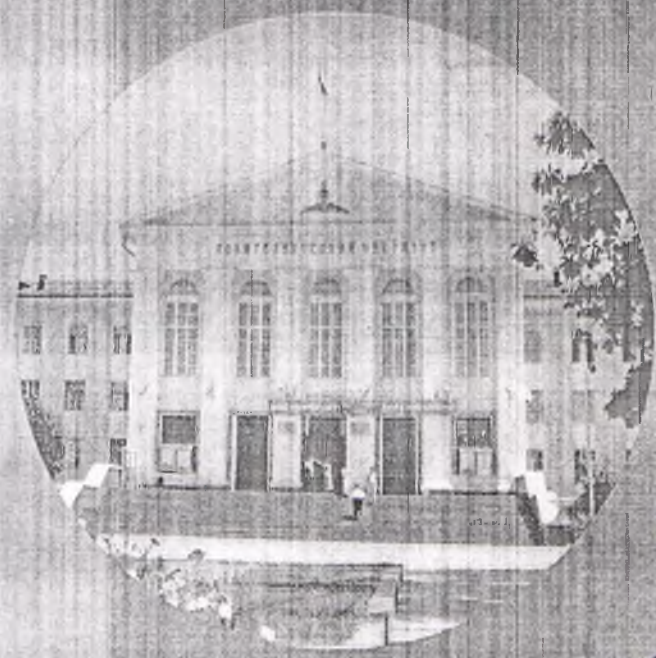


ISSN 1694-5557

ИЗВЕСТИЯ

**Кыргызского государственного технического
университета им. И. Раззакова**

2017
№ 1 (41) часть II



Бишкек

Издательский центр «Техник» 2017

*Комитет науки
УМНТТУ
18.04.18*



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. И. РАЗЗАКОВА

ISSN 1694-5557

ИЗВЕСТИЯ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2017

№ 1 (41) часть II

Бишкек

Издательский центр «Текник» 2017

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE KYRGYZ REPUBLIC
KYRGYZ STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED AFTER I.RAZZAKOV

JOURNAL

KYRGYZ STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED
AFTER I.RAZZAKOV

THEORETICAL AND APPLIED SCIENTIFIC TECHNICAL JOURNAL

2017

№ 1 (41) part II

Bishkek

Publishing center "Tehknik" 2017

	базовых станций.....	102
19.	<i>Исманалиев У.Т., Нурматов Б.Н.</i> Качество обслуживания мультисервисных сетей.....	107
20.	<i>Батырканов Ж.И., Баймухамедов М.Ф., Кадыркулова К.К.</i> Об одном подходе адаптивного управления траекторным движением.....	110

КТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

1.	<i>Асиев А.Т.</i> Оценка качества электрической энергии в распределительных сетях 0,38кВ при нелинейных потребителях.....	118
2.	<i>Асиев А.Т., Турусбек уулу А.</i> Анализ перспективы внедрения технологии Smart Grid в КР.....	121
3.	<i>Бочкарев И.В., Гунина М.Г.</i> Уточненный расчет пазового рас сеяния электрических машин.....	125
4.	<i>Куржумбаева Р.Б., Абдиева З.Э.</i> Решение проблем по подготовке кадров для энергетики.....	131
5.	<i>Нургазы Ж., Борукеев Т.С., Калматов У.А.</i> Трансформатордогу үзгүлтүксүз зарядлардын түзүлүшү абалына карата онлайндык мониторинг жүргүзүү жана бузулуштарына интеллектуалдык диагностика ууну жаңы ыкмаларын изилдөө.....	134

РИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА И ФИЗИКА

	<i>Алимканов А.А.</i> Математические модели процесса распространения сейсмических волн юга Кыргызстана.....	140
	<i>Идиев С.Б.</i> Воздействия энергия магнитного поля на молекулы гемоглобина крови.....	147
	<i>Канаев А.Т., Баймырзаев К.М., Сатымбеков Р. К., Даулетбаева М.</i> Исследования физико – механических характеристик золы алматинского тэц-3	150
	<i>Надземиддинов А.М.</i> Стационарное распространение тепла в среде сферической формы.....	155

(ИСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

	<i>Самсонов В.А.</i> Расчет геометрии зуба двухугловой фрезы для обработки стружечных канавок.	160
	<i>Алтымыш у.У., Тенизбеков М.Т.</i> Исследование показателей эффективности инвестиционного проекта «На автотранспортном предприятии»	164

ИЯ, ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

	<i>Абдыкеримова А.С.</i> Изменение морфологии структур наночастиц металлов – следствие синергетики импульсной плазмы и природы среды.....	170
--	--	-----

ХОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

	<i>Тычарбекова М.Т.</i> К вопросу разработки технологии функциональных продуктов на основе квиноа.....	176
--	---	-----

ЮГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

	<i>Омуров Ж.М., Махматов А.</i> Экспертиза промышленной безопасности.....	181
--	--	-----

2.	<i>Сатымбалдиева Д.К., Таи</i> Анализ воздействия сточ
3.	<i>Шерматов Ч.Ш., Таши</i> Анализ влияния вибрац

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕС

1.	<i>Акматаев К.Б., Турганба</i> Расчет печатной графи
2.	<i>Исмаилов А.У., Асанова</i> Для байл жазууга үйр
3.	<i>Исмаилов А.У.</i> Кыргыз тилин өкити
	колдонууну методика

ПРОБЛЕМЫ И ИННОВАЦИИ

1.	<i>Узбеков Д.С.</i> Есть такая профессия - 1
2.	<i>Хасанов Н.Б.</i> Организация внеаудитор
	русского языка в техни
3.	<i>Хасанов Н.Б.</i> Русский язык как средст
	инженерного профиля..

Содержание

«Известия КГТУ им.И.Раззакова» № 1 (41) часть 2

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

1. *Алимсеитова Ж., Боскебеев К. Дж.*
Технологии распознавания образов с использованием биометрии личности..... 11
2. *Арстанбеков К.А., Кармышаков А.К.*
Моделирование и исследование помехоустойчивого кодирования канала связи в среде matlab/simulink..... 17
3. *Боскебеев К.Дж., Боскебеева А.К., Акматалиева Ж.З., Джисамкеев А.Д.*
Информационная система анализа и учета повышения эффективности паеда молока..... 25
4. *Джусалбиев Э.А., Луговской С.А.*
Исследования быстродействия выполнения расчетов, основанных на таблицах и на представлениях в системах управления базами данных (на примере Oracle)..... 30
5. *Джунусов Ж.Б., Каримов Б.Т.*
Модернизации телефонной сети общего пользования для предоставления современных услуг..... 37
6. *Жакыпбекова К.Ж., Жулабаев М.Ж.*
Система защиты информации радиосети внутри здания..... 44
7. *Жанузакан М.Т., Абдыллаева Г.О.*
Волоконно-оптические датчики..... 48
8. *Исмаилов Б.И., Каткова С.И.*
Онтологическая модель предметной области «учебные материалы» в автоматизированной обучающей системе по программированию..... 52
9. *Каримов Б.Т.*
Построение матричного коммутатора со связями по полному графу для мульти микропроцессорных систем..... 57
10. *Каримов Б.Т., Кармышаков А.К., Голомазов Е.Г.*
Средства диспетчеризации в мульти микропроцессорных системах..... 62
11. *Мааразыков У.У., Бакытов Р.Б.*
Особенности внедрения стандарта dvb-h..... 65
12. *Матюшин Д.С., Абдыллаева Г.О.*
Информационная безопасность и физическая защита центра обработки данных 71
13. *Молдобева М.К., Кармышаков А.К.*
Перспективы процесса внедрения широкополосного доступа в Кыргызстане.... 76
14. *Павловская К.К., Абдыллаева Г.О.*
Инструменты защиты конфиденциальной информации в компьютерных сетях.. 79
15. *Садырбаев Т.О., Абдыллаева Г.О.*
Развитие информационных услуг, предоставляемых сетями связи..... 84
16. *Самакбаева Р.А., Алиев И.К.*
Взаимодействие базовых станций в мобильных локальных сетях..... 90
17. *Сарп Эршиорк*
Ввод в действие и трудности при проведении анализа встроенных расширенных стандартов шифрования (aes) в bluetooth с низким энергопотреблением..... 93
18. *Талайбеков Т.Т., Абдыллаева Г.О.*
Частотное планирование в сетях мобильной связи на основе подвижных

- теле- и/или радиовещание (ТВ).

Для этих сервисов необходима различная пропускная способность. Для технологий VoD/AoD пропускная способность прямо пропорциональна количеству заказанных различных видеопотоков. Например, уже при заказе 100 пользователями различных фильмов при потоке 4-5 Мбит/с каждый сформируется общий поток на магистрали 400-500 Мбит/с. Для снижения нагрузки на магистраль используется технология кеширующих серверов, располагающихся как можно ближе к абоненту.

Для сервиса ТВ используется технология multicast, которая существенно снижает нагрузку на магистраль. Однако появляется требование поддержки оборудования протокола групповой адресации IGMP и протоколов мультикаст маршрутизации (PIM, DVMRP).

Выводы:

- Задержка не более 4-5 секунд. Столь большая задержка возможна благодаря использованию буферизации в видеоприложениях.
- По той же причине не существует значительных требований к колебанию задержки.
- Потери должны составлять максимум 2%.

Список литературы

1. Д.Векслер (Дж. Векслер) Наконец-то надежно обеспечена защита данных в радиосети // Компьютеруорлд Москва, 1994, N17, сс. 13-2. Регис Дж. Бейтс Физическая защита в аварийном восстановлении для JIBC, 1994, McGraw-Hill, Inc, pp. 44-65
3. М. Рааб (M.Raab) Защита сетей: наконец-то в центре внимания // Компьютеруорлд Москва, 1994, №29, с. 18
4. Безопасность компьютерных коммуникаций Warwick Ford. Принципы, стандартные протоколы и методы // PTR Prentice Hall, 1994, 500р.
5. Проблемы финансов / банковской безопасности: обзор за 1994 год // Доклады Datapro по автоматизации банковской деятельности McGraw-Hill Inc., февраль 1995 г., стр. 101-108
6. Datapro на CD-ROM Communications Analyst, 1994, октябрь.
7. С.В. Сухова. Система безопасности NetWare // "Сему", 1995, N4, сс. 60-70

УДК 519.71

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Жениш Исакунович Батырканов, доктор технических наук, профессор Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: bjenish@mail.ru

Малик Файзуллоевич Баймухамедов, доктор технических наук, профессор Костанайского социально-технического университета им. академика З.Алдамжар, Казахстан.

Кыял Кудайбердиевна Кадыркулова, старший преподаватель Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: kylal_02@mail.ru

В данной работе предлагаются новая методика синтеза адаптивного управления движением объекта по предписанной траектории. Объект подвержен параметрическим возмущениям. На основе применения метода функций Ляпунова предлагается методика синтеза соответствующих адаптивных законов управления траекторным движением. Рассмотренные модельные примеры синтеза показывают о конструктивности и эффективности предлагаемых методов синтеза.

Ключевые слова: траектория, адаптивное управление

ONE OF THE

Jenish Isakunovich Batyrkanov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 720044, Kyrgyz Republic, Bishkek, Mira St. 66, e-mail: bjenish@mail.ru
Malik Fayzulloevich Baymukhamedov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Kostanay Social and Technical University named after Academician Z. Aldamzhar, Kazakhstan.
Kyial Kudayberdievna Kadyrkulova, Senior Lecturer of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 720044, Kyrgyz Republic, Bishkek, Mira St. 66, e-mail: kylal_02@mail.ru

In this paper a new method of Lyapunov adaptive control laws getting is proposed. The considered model examples show the constructiveness and effectiveness of the proposed synthesis methods.

Keywords:

trajectory, Lyapunov control

Введение.

Объектом по заданной траектории в задачах 3 D- управления. Задачи траекторного автоматического управления синтезом адаптивных законов управления в траекторном движении с этим методом. актуальными.

Постановка задачи.

Важнейшим является рассмотрение

где А.

соответственно. Матрица зависимости от параметров различного метода.

Предмет исследования.

Предмет исследования. Задачу следующего объекта.

Ключевые слова: Синтез управления, параметрические возмущения, предписанная траектория, адаптивное управление, метод функций Ляпунова.

ONE OF THE METHOD ADAPTIVE CONTROL OF TRAJECTORY MOTION

Iskh Isakunovich Batyrkanov, Professor, Doctor of Technical Science, Kyrgyz Technical University named after I.Razzakov, 66 Mira Avenue, Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic, e-mail: iskh@mail.ru

Faizulloevich Baymuhamedov, Doctor of Technical Sciences, Professor of Kostanay Socio-Technical University, Kazakhstan.

Kadyrkulovna Kadyrkulova, senior teacher, Kyrgyz Technical University named after I.Razzakov, 66 Mira Avenue, Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic, e-mail: kyial_02@mail.ru

In this paper, we propose a new technique for the synthesis of adaptive control of the motion object along a prescribed trajectory. The object is subject to parametric disturbances. Using method of Lyapunov functions, we propose a technique for synthesizing the corresponding control laws governing the trajectory motion. The considered model examples of synthesis show instructiveness and effectiveness of the proposed methods of synthesis.

Keywords: control synthesis, parametric perturbations, prescribed trajectory, adaptive control, Lyapunov function method

Введение. На сегодняшний день на практике часто встречаются задачи управления объектом по заданной предписанной траектории (программе). Это в задачах лазерной обработки деталей, задачах управления летательными объектами, в задачах робототехники, задачах 3D-технологий.

Задачи траекторного управления объектами относятся к неклассическим задачам теории автоматического управления. На данный момент предложены ряд подходов и методов синтеза управления, это работы Галиулина А.С., Фурасова В.Д., Крутько П.Д., Исканова Ж.И. и других [1,2,3]. Несмотря на это, встречаются большое количество нерешенных в этой области задач. Это в первую очередь задачи адаптивного управления. Вместе с этим задачи синтеза адаптивного управления траекторным движением являются одними из самых актуальными.

Постановка задачи адаптивного управления программным (траекторным) движением линейного объекта.

Рассмотрим линейный объект управления, описываемый уравнением

$$\dot{x} = Ax + Bu + \Delta Ax, \tag{1}$$

где A, B – числовые детерминированные матрицы размерностей $n \times n$; $n \times m$ соответственно; ΔA – матрица неизвестных изменяющихся по времени параметров объекта.

Матрица неизвестных параметров объекта удовлетворяет так называемому условию стационарности, при котором предполагается, что параметры объекта изменяются медленнее, чем переменные состояния. В соответствии с этим принимается

$$\frac{d(\Delta A)}{dt} \sim 0. \tag{2}$$

Предписанная программа движения задается в виде уравнений

$$\Psi_n(x, t) = 0, \quad r = 1, s \quad s \leq n. \tag{3}$$

Предполагается при этом, что ранг матрицы $\frac{\partial \Psi}{\partial x}$ равен “s”.

Задачу синтеза адаптивного управления программным движением сформулируем следующим образом. Требуется синтезировать адаптивный закон управления в классе

$$\begin{cases} U = U_{пр}(x, t) - C \cdot x, \\ C = \Psi(x, c, t). \end{cases}$$

где C – матрица настраиваемых параметров регулятора, при котором движение системы (1) осуществляется по предписанной программе (3).

Построение адаптивного управления в частном случае

Рассмотрим случай, когда предписанная программа движения задана уравнением в неявной форме

$$\Psi(x, t) = 0.$$

Для решения выше поставленной задачи применим аппарат функций Ляпуна. При формировании функции Ляпунова предварительно заметим, что цель адаптивного управления в данном случае заключается в обеспечении движения управляемой системы по предписанной программе и в обеспечении возвращения движения системы на предписанную траекторию, в случае выхода системы из неё вследствие действия параметрических возмущений и возмущений по переменным состояния. Другими словами, цель управления заключается в выполнении условия устранения ошибки выполнения предписанной программы движения.

$$\begin{cases} \delta = \Psi(x, t) \neq 0, \\ \delta(t) \rightarrow 0. \end{cases}$$

Исходя из этого замечания, функция Ляпунова определяется как функция от отклонения от выполнения предписанной программы. Она должна также учитывать процесс компенсации параметрических возмущений путём настройки параметров регулятора. Применив метод выше поставленной задачи и исходя из структуры управляемого объекта (1), структуры регулятора (4) и предписанной программы движения (5) функцию Ляпунова возьмём в виде

$$V(\delta, \gamma) = \delta^2 + \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i),$$

где γ_1 – 1-я строка матрицы $(\Delta A - B \cdot C)$, т.е.

$$\gamma_1 = (\Delta A - B \cdot C)_1$$

Очевидно, что рассматриваемая функция Ляпунова является *положительно определенной функцией по отношению к переменным δ, γ .

Для нахождения искомого закона управления вычислим полную производную функции Ляпунова с учетом рассматриваемых уравнений.

Имеем

$$\dot{V} = 2\Psi \left(\frac{d\Psi}{dx}, Ax + BU_{пр} \right) + 2\Psi \left(\frac{d\Psi}{dx}, (\Delta A - BC)x \right) + 2 \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) + \frac{d(\Psi^2)}{dt}$$

Заметим, что выражение $(\Delta A - BC) \cdot x$, с учетом обозначений (8), можно представить в виде:

$$(\Delta A - BC) \cdot x = ((\gamma_1, x), \dots, (\gamma_n, x))^T$$

С учетом этого выражение (9) представится как:

$$\dot{V} = 2\Psi \left(\frac{d\Psi}{dx}, Ax + BU_{пр} \right) + 2\Psi \sum_{i=1}^n \frac{d\Psi}{dx_i} (\gamma_i, x) + 2 \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) + \frac{d(\Psi^2)}{dt}$$

В соответствии с поставленной целью управления (6) потребуем, чтобы полная производная функции Ляпунова удовлетворяла условию:

$$\dot{V} = 2a(x) \cdot R(\Psi, x),$$

где $a(x)$ – знакоотрицательная функция;

$R(\Psi, x)$ – производная положительно определенная (относительно Ψ) функция, удовлетворяющая условию

$$R(0, x) = 0.$$

С учетом (12) выражение (11) представится:

$$\frac{1}{2} \frac{d\Psi^2}{dt} + \Psi \left(\frac{d\Psi}{dx}, Ax + BU_{пр} \right) + \Psi \sum_{i=1}^n \frac{d\Psi}{dx_i} (\gamma_i, x) + \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) = a(x) \cdot R(\Psi, x) \quad (14)$$

Если существует аналитическое решение (14), то, очевидно, при выполнении условия Ляпунова об устойчивости системы следует по отношению к

Для определения искомого закона управления представим (14) в виде:

$$\frac{1}{2} \frac{d\Psi^2}{dt} + \Psi \left(\frac{d\Psi}{dx}, Ax + BU_{пр} \right) + \Psi \sum_{i=1}^n \frac{d\Psi}{dx_i} (\gamma_i, x) + \sum_{i=1}^n (\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) = a(x) \cdot R(\Psi, x)$$

Из последнего соотношения следует:

а алгоритм настройки параметров регулятора

или

С учетом обозначений (8) и (10) окончательно имеем

где $(BC)_i$ обозначает Программную часть алгоритма, как это делалось в [1].

$$U_{пр} = [a(x) \cdot \Psi]$$

Итак, вышепоставленная задача решается на основании (14). Рассмотрим пример 1.

Пример 1. объект

где,

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix};$$

При этом элемент системы неустойчив.

Пусть предписанная программа движения задана уравнением $\sin \omega t$ или

Для нахождения искомого закона управления представим (14) в виде:

Тогда имеем

С учетом того

Если существует адаптивный закон управления (4), который удовлетворяет соотношению (14), то, очевидно, вышепоставленная цель управления (6) достигнута. Действительно, при выполнении соотношения (14) выполняются известные теоремы Э.В.Румянцева об устойчивости по части переменных. В рассматриваемом случае это происходит по отношению к переменной:

$$\delta = \Psi(x, t) \neq 0.$$

Для определения искомого адаптивного закона управления из (14), предварительно (14) преобразуем к виду:

$$\frac{1}{2} \frac{d\Psi^2}{dt} + \Psi \left(\frac{d\Psi}{dx}, Ax + Bu_{np} \right) + \sum_{i=1}^n \Psi \frac{d\Psi}{dx_i} \left(\gamma_i, x + \left(\frac{d\Psi}{dx_i} \right)^{-1} \cdot \Psi^{-1} \cdot \gamma_i \right) = a(x) \cdot R(\Psi, x) \quad (15)$$

Из последнего соотношения программную часть регулятора определим из соотношения:

$$\frac{1}{2} \frac{d\Psi^2}{dt} + \Psi \left(\frac{d\Psi}{dx}, Ax + Bu_{np} \right) = a(x) \cdot R(\Psi, x) \quad (16)$$

а алгоритм настройки параметров регулятора определяется в виде

$$\dot{X}^T + \Psi^{-1} \left(\frac{d\Psi}{dx_i} \right)^{-1} \cdot \dot{\gamma}_i = 0$$

или

$$\dot{\gamma}_i = -\Psi \cdot \frac{d\Psi}{dx_i} \cdot X^T \quad (17)$$

С учетом обозначений (8) и условия квазистационарности параметров объекта (2) окончательно имеем

$$(BC)_i = \Psi \cdot \frac{d\Psi}{dx_i} \cdot X^T, \quad i = \overline{1, n}, \quad (18)$$

где $(BC)_i$ обозначает первую строку матрицы.

Программную часть регулятора определяем из соотношения (16) по аналогичной процедуре, как это делали во второй главе. Опуская промежуточные выкладки, окончательно имеем:

$$U_{np} = \left[a(x) \cdot \Psi^{-1} \cdot R(\Psi, x) - \left(\frac{d\Psi}{dx}, Ax \right) - \frac{1}{2} \frac{d\Psi^2}{dt} \Psi^{-1} \right] \cdot \left(B^T \frac{d\Psi}{dx}, B^T \frac{d\Psi}{dx} \right)^{-1} \cdot B^T \frac{d\Psi}{dx} \quad (19)$$

Итак, вышепоставленная задача адаптивного управления программным движением решается на основании (4), (18) и (19).

Рассмотрим пример синтеза адаптивного закона управления программным движением.

Пример 1. объект управления описывается системой

$$\dot{X} = A \cdot x + B \cdot u + \Delta Ax \quad (20)$$

где,

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad \Delta A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix};$$

При этом элементы матрицы параметрических возмущений удовлетворяют условию квазистационарности.

Пусть предписанная программа движения описывает гармонический процесс $X(t) = A \sin \omega t$ или

$$\psi(x_1, x_2) = x_1^2 + \frac{x_2^2}{\omega^2} = A^2 = 0 \quad (21)$$

Для нахождения U_{np} , согласно выражения (19), выберем в качестве положительно определенной функции

$$R(\psi, x) = \psi^2(x, t). \quad (22)$$

Тогда имеет место

$$a(x) \cdot \psi^{-1} R(\psi, x) = a(x) \cdot \psi(x, t). \quad (23)$$

С учетом того, что $\left(\frac{\partial \psi}{\partial x}, Ax \right) = 2x_1 x_2; \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0$, имеем

$$U_{пр} = (a(x) \cdot \phi(x, t) - 2x_1 x_2) \frac{\omega^2}{2x_2}$$

При отсутствии параметрических возмущений. Повторяя те же рассуждения, $a(x)$ осуществляем из условий физической реализации (в данном случае это устранение деления на x_2 , которая может принимать и нулевые значения). Окончательно имеем

$$U_{пр} = \omega^2 (x_1 + a_0 \psi \cdot x_2),$$

где a_0 – положительное число.

Алгоритм самонастройки параметров регулятора определяется согласно (4.18) рассматриваемого примера уравнение (18) распишется в виде

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot (\dot{c}_1 \dot{c}_2) = \psi \frac{\partial \psi}{\partial x_2} \cdot x^T, \quad i = 1, 2.$$

или отсюда имеем

$$\begin{cases} C_1 = \psi \frac{\partial \psi}{\partial x_2} \cdot x_1 \\ C_2 = \psi \frac{\partial \psi}{\partial x_2} \cdot x_2 \end{cases}$$

С учетом выражения для ψ имеем

$$\begin{cases} \dot{C}_1 = \left(X_1^2 + \frac{X_2^2}{\omega^2} - A^2 \right) \frac{2X_2 X_1}{\omega^2} \\ \dot{C}_2 = \frac{2X_2^2}{\omega^2} \left(X_1^2 + \frac{X_2^2}{\omega^2} - A^2 \right). \end{cases}$$

Окончательно уравнение замкнутой системы в данном примере с учетом структуры регулятора вида.

$$U = U_{пр} - CX$$

представится в виде

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 + a_{11}x_1 + a_{12}x, \\ \dot{x}_2 = a_{21}x + a_{22}x_2 - \left[x + a_D \left(x_1^2 + \frac{X_2^2}{\omega^2} - A^2 \right) x_2 \right] - C_1 x_1 - C_2 x_2, \\ \dot{C}_1 = \frac{2X_1 X_2}{\omega^2} \left(x_1^2 + \frac{X_2^2}{\omega^2} - A^2 \right), \\ \dot{C}_2 = \frac{2X_2^2}{\omega^2} \left(x_1^2 + \frac{X_2^2}{\omega^2} - A^2 \right). \end{cases}$$

Построение адаптивного управления в общем случае.

Рассмотрим случай, когда предписанная программа движения описывается с уравнений

$$\varphi_r(x, t) = 0, \quad r = \overline{1, s},$$

Целью управления в рассматриваемом случае является выполнение условий

$$\begin{cases} \delta_r = \varphi_r(x, t) \neq 0 \\ \delta_r \rightarrow 0, \quad r = \overline{1, s} \end{cases}$$

Функция Ляпунова формируем в виде

$$V(\delta, \gamma) = \sum_{r=1}^s \delta_r^2 + \sum_{i=1}^n (\gamma_i \gamma_i)$$

где γ_i – обозначает, как и в предыдущем параграфе, 1 – ю строку матрицы Δ

Для отыскания искомого закона сперва, вычисляем полную производную Ляпунова на движениях системы, затем приравняем его к произвольной знакоопределенной относительно переменных $\delta_1, \dots, \delta_n$ функций.

Рассмотрим эту схему построения искомого закона управления. Вычисляем производную функции Ляпунова на движениях системы. Имеем

$$\dot{V} = \sum_{r=1}^s 2\Psi_r \left(\frac{d\Psi_r}{dx}, Ax + Bu_{пр} \right) + \sum_{r=1}^n 2\Psi_r \left(\frac{d\Psi_r}{dx}, (\Delta A + BC)x \right) + \sum_{r=1}^n 2(\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) +$$

$$\sum_{r=1}^n 2\Psi_r \left(\frac{d\Psi_r}{dx}, (\Delta A - BC)x \right) = \sum_{r=1}^n 2\Psi_r \sum_{r=1}^n \frac{d\Psi_r}{dx} (\gamma_i, x), \quad (33)$$

Учитывая последнее соотношение выражения (32), запишем

$$\dot{V} = \sum_{r=1}^n 2\Psi_r \left(\frac{d\Psi_r}{dx}, Ax + Bu_{np} \right) + \sum_{r=1}^n 2\Psi_r \sum_{r=1}^n \frac{d\Psi_r}{dx} (\gamma_i, x) + \sum_{r=1}^n 2(\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) + \frac{d(\Psi_i^2)}{dt} \quad (34)$$

В последнем выражении произведем следующие преобразования:

$$\begin{aligned} & \sum_{r=1}^n 2\Psi_r \sum_{r=1}^n \frac{d\Psi_r}{dx} (\gamma_i, x) + \sum_{r=1}^n 2(\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) = \\ & = \sum_{r=1}^n \left[2(\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) + \sum_{r=1}^n 2\Psi_r \frac{d\Psi_r}{dx_1} (\gamma_i, x) \right] = \sum_{r=1}^n \left[2(\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) + \sum_{r=1}^n \Psi \frac{d\Psi_r}{dx_1} x \right] \quad (35) \end{aligned}$$

С учетом последнего выражения (34) представим

$$\dot{V} = \sum_{r=1}^n 2\Psi_r \left(\frac{d\Psi_r}{dx}, Ax + Bu_{np} \right) + \sum_{r=1}^n \left[2(\gamma_i \cdot \dot{\gamma}_i) + \sum_{r=1}^n \Psi \frac{d\Psi_r}{dx_1} x \right] + \sum_{r=1}^n \frac{d(\Psi_i^2)}{dt} \quad (36)$$

Потребуем выполнения условия

$$V = a(x) \cdot R(\delta_1, \dots, \delta_n, x), \quad (37)$$

где $a(x)$ - знакоотрицательная функция выбираемая из условия физической реализуемости синтезируемого закона управления;

$R(\delta_1, \dots, \delta_n, x)$ -произвольная положительно определенная по переменным δ_n функция.

Если закон управления определить из системы (36), (37), то очевидно, согласно стьным теоремам В.В. Румянцева, цель управления (30) будет достигнута. Таким образом, систем (36), (37)

Определяем, во-первых, закон настройки параметров регулятора в виде

$$\dot{\gamma}_i = - \sum_{r=1}^n \Psi_r \frac{d\Psi_r}{dx_1} x^T, \quad (38)$$

и во-вторых, определяем программную часть закона управления. Для определения последней имеем

$$\sum_{r=1}^n 2\Psi_r \left(\frac{d\Psi_r}{dx}, Ax + Bu_{np} \right) + \sum_{r=1}^n \frac{d(\Psi_i^2)}{dt} = a(x) \cdot R(\delta_1, \dots, \delta_n, x), \quad (39)$$

где $\delta_i := \Psi_r(x, t \neq 0)$.

Запишем последнее выражение в следующем равносильном виде:

$$\sum_{r=1}^n 2\Psi_r \left(\frac{d\Psi_r}{dx}, Bu_{np} \right) = a(x) \cdot R(\dots) - \sum_{r=1}^n \frac{d(\Psi_i^2)}{dt} - \left(\sum_{r=1}^n 2\Psi_r \frac{d\Psi_r}{dx}, Ax \right), \quad (40)$$

из уравнение (40) окончательно имеем

$$\begin{aligned} & \left[\sum_{r=1}^n 2\Psi_r \left(\frac{d\Psi_r}{dx}, Bu_{np} \right) - \sum_{r=1}^n \frac{d(\Psi_i^2)}{dt} - \left(\sum_{r=1}^n 2\Psi_r \frac{d\Psi_r}{dx}, Ax \right) \right] \cdot \\ & \left(\sum_{r=1}^n 2\Psi_r \frac{d\Psi_r}{dx}, B^T \sum_{r=1}^n 2\Psi_r \frac{d\Psi_r}{dx} \right)^{-1} \cdot B^T \sum_{r=1}^n 2\Psi_r \frac{d\Psi_r}{dx}. \quad (41) \end{aligned}$$

С учетом обозначений для γ_i и условий квазистационарности алгоритм настройки окончательно запишется в виде

$$(BC)_i = \sum_{r=1}^n \varphi_r \frac{\delta \Psi_r}{\delta x_i} x^r, \quad i = 1, n \quad (42)$$

где через $(BC)_i$, обозначается i -я строка матрицы BC.

Итак, адаптивный закон управления определяется через соотношения (41), (42) и его структуру:

$$U = U_{np} - C \cdot X \quad (43)$$

Рассмотрим пример синтеза адаптивного закона управления.

Пример 2. Рассмотрим объект управления, описываемый системой

$$\dot{X} = \Delta x + Bu + \Delta Ax, \quad (44)$$

где

$$A = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \Delta A = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & 0 & 0 \\ 0 & a_{22}(t) & 0 \\ 0 & 0 & a_{33}(t) \end{pmatrix}$$

Поставим задачу осуществления движения системы (44) по прямой, описываемой уравнениями:

$$\begin{cases} \psi_1 = x_1 + x_2 + x_3 - 1 = 0, \\ \psi_2 = x_1 - 2x_2 - 3x_3 - 5 = 0. \end{cases} \quad (45)$$

Управление строим в виде

$$U = U_{\text{пр}} - CX.$$

Для определения $U_{\text{пр}}$ по формуле (41) предварительно установим:

$$\sum 2\psi_1 \frac{\delta\psi_1}{\psi x} = 2(x_1 + x_2 + x_3 - 1)(1; 1; 1)^T;$$

$$\sum 2\psi_2 \frac{\delta\psi_2}{\psi x} = 2(x_1 - 2x_2 - 3x_3 - 5)(1; -2; 3)^T;$$

$$Ax = (-x_2; x_3; 0)^T;$$

$$\left(\sum_{r=1}^{n=2} 2\psi_r \frac{\delta\psi_r}{\psi x}, Ax \right) = 2(\psi_1 + \psi_2)x_2 + 2x_3(\psi_1 - 2\psi_2);$$

$$B^T \sum_{r=1}^{n=2} 2\psi_r \frac{\delta\psi_r}{\psi x} = \begin{pmatrix} 2\psi_1 + 2\psi_2 \\ 2\psi_1 - 6\psi_2 \end{pmatrix};$$

$$\left(B^T \sum_{r=1}^2 2\psi_r \frac{\delta\psi_r}{\psi x}, B^T \sum_{r=1}^2 2\psi_r \frac{\delta\psi_r}{\psi x} \right)^{-1} = [4(\psi_1 + \psi_2)^2 + 4(\psi_1 - 3\psi_2)^2]^{-1}$$

В качестве выражения $a(x)R(\psi_1\psi_2)$ возьмем

$$a(x)R(\psi_1\psi_2) = -(\psi_1^2 + \psi_2^2)$$

С учетом вышеопределенных выражений, согласно выражения (41), имеем

$$U_{\text{пр}} = [-\psi_1^2 - \psi_2^2 + 2(\psi_1 + \psi_2)x_2 - 2(\psi_1 - 2\psi_2)x_3][4(\psi_1 + \psi_2)^2 + 4(\psi_1 - 3\psi_2)^2]^{-1} \begin{pmatrix} 2\psi_1 + 2\psi_2 \\ 2\psi_1 - 6\psi_2 \end{pmatrix}; \quad (46)$$

Структура выражения (46) показывает, что она вполне физически реализуема.

Найдем алгоритм настройки параметров регулятора. Алгоритм настройки определяем по формуле (42).

Предварительно определим:

$$\sum_{r=1}^2 \psi_r \frac{\delta\psi_r}{\psi x_1} = \psi_1 + \psi_2;$$

$$\sum_{r=1}^2 \psi_r \frac{\delta\psi_r}{\psi x_2} = \psi_1 - 2\psi_2;$$

$$\sum_{r=1}^2 \psi_r \frac{\delta\psi_r}{\psi x_3} = \psi_1 - 3\psi_2;$$

$$B\hat{C} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \end{pmatrix}$$

Подставляя найденные выражения в формулу (42), окончательно определим:

$$\begin{cases} \hat{c}_{11} = (\psi_1 + \psi_2) x_1; \\ \hat{c}_{12} = (\psi_1 + \psi_2) x_2; \\ \hat{c}_{13} = (\psi_1 + \psi_2) x_3; \\ \hat{c}_{21} = (\psi_1 - 3\psi_2) x_1; \\ \hat{c}_{22} = (\psi_1 - 3\psi_2) x_2; \\ \hat{c}_{23} = (\psi_1 - 3\psi_2) x_3; \end{cases} \quad (47)$$

Уравнение замкнутой системы, согласно найденным выражениям (46) (47), представится в виде

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 + a_{11}(t) + \frac{(-\Psi_1^2 - \Psi_2^2 + 2\Psi_1 x_2 + 2\Psi_2 x_2 - 2\Psi_1 x_3 + 4\Psi_3 x_2)}{4(\Psi_1 + \Psi_2)^2 + (2\Psi_1 - 6\Psi_2)^2} \cdot 2(\Psi_1 + \Psi_2) - c_{12}x_2 - c_{13}x_3; \\ x_2 &= a_{22}(t)x_2 + x_3; \\ \dot{x}_3 &= \frac{(-\Psi_1^2 - \Psi_2^2 + 2\Psi_1 x_2 + 2\Psi_2 x_2 - 2\Psi_1 x_3 + 4\Psi_3 x_2)}{4(\Psi_1 + \Psi_2)^2 + (2\Psi_1 - 6\Psi_2)^2} + a_{33}(t)x_3 - c_{21}x_1 - c_{22}x_2 - c_{23}x_3; \end{aligned} \quad (48)$$

$$\begin{aligned} \dot{c}_{11} &= (\Psi_1 + \Psi_2) x_1; \quad \dot{c}_{12} = (\Psi_1 + \Psi_2) x_2; \quad \dot{c}_{13} = (\Psi_1 + \Psi_2) x_3; \\ \dot{c}_{21} &= (\Psi_1 - 3\Psi_2) x_1; \quad \dot{c}_{22} = (\Psi_1 - 3\Psi_2) x_2; \quad \dot{c}_{23} = (\Psi_1 - 3\Psi_2) x_3; \end{aligned}$$

Выводы. Предложена новая методика построения адаптивного управления вторым движением управляемого объекта при параметрических возмущениях.

Приведенные модельные примеры синтеза показывают, что предлагаемые методики весьма конструктивны и эффективны.

Список литературы

1. Галиуллин А.С. Обратные задачи динамики, - М.: Наука, 1981
2. Кругляко П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем- М.: Наука, 1988
3. Шаршеналиев Ж.Ш., Батырканов Ж.И. Синтез систем управления с заданными значениями качества-Б.: Илим, 1991.