Сборник материалов
по результатам исследовательских стажировок в рамках программ «Михаил Ломоносов» и «Иммануил Кант» 2020—2021 года

Kurzdarstellungen
der in den Programmen „Mikhail Lomonosov“ und „Immanuel Kant“ realisierten Forschungsaufenthalte 2020—2021

№ 17 (2021)

Германская служба академических обменов
Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Ministerium für Wissenschaft und Hochschulbildung der Russischen Föderation

Москва
Издательство «ФЛИНТА»
2021

УДК 050
ББК 94.3
С23

Германская служба
академических обменов

Министерство науки и высшего
образования Российской Федерации

С23 **Сборник материалов по результатам исследовательских стажировок в рамках программ «Михаил Ломоносов» и «Иммануил Кант» 2020—2021 года** = Kurzdarstellungen der in den Programmen „Mikhail Lomonosov“ und „Immanuel Kant“ realisierten Forschungsaufenthalte 2020—2021. № 17 (2021) : сборник статей / Германская служба академических обменов (DAAD). — Москва : ФЛИНТА, 2021. — 192 с. : ил.

ISBN 978-5-9765-4694-3

УДК 050
ББК 94.3

© Германская служба академических обменов (DAAD), 2021
© Авторы статей, 2021

ISBN 978-5-9765-4694-3

Содержание

Хёшен А.	Вступительное слово	6
Смирнов В.М.	Вступительное слово	8
Ридигер А.В.	О финансировании научно-исследовательской деятельности вузов из зарубежных источников	10
Лебедев А.А.	Об особенностях реализации государственной научно-технической политики на современном этапе	22
Ридигер А.В.	О результатах анализа данных отраслевой системы мониторинга состояния и развития научного потенциала высшей школы	31

Статьи стипендиатов программы «Михаил Ломоносов»

Баранов Е.Д.	Разработка и исследование гибридного (комбинированного) матричного преобразователя	47
Ванин А.С.	Исследование вопросов интеграции распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии в электрические сети с учетом качества электроэнергии и надежности электроснабжения	52
Вильнер М.А.	Численное моделирование напряженно-деформированного состояния трещиноватых породных массивов на участках сопряжений горных выработок	58
Габышев Д.Н.	Диссипация механической энергии капельным кластером	64
Дягелев М.Ю.	Оценка эффективности комбинированной очистки городских сточных вод активным илом и активированным углем	70
Ершов С.В., Реймер В.	Совершенствование процесса создания текстильных преформ методом радиального плетения	76

Зайцев В.А.	Об управлении верхним показателем Боля линейных периодических систем в бесконечномерных пространствах	81
Карпов С.И.	Синтез мезопористых материалов на основе диоксида кремния с молекулярными отпечатками полифенолов. Характеристика свойств наноструктурированных сорбентов	86
Клунникова Ю.В.	Исследование термоупругих свойств пленок на подложках для микроэлектроники	92
Комаров В.С.	Исследование возможности применения мегапластической деформации кручением с целью повышения свойств сплавов с памятью формы на основе Ti-Ni	98
Мершиев И.Г.	Использование генетического алгоритма для оптимизации композитных импульсов ЯМР с дискретной фазовой модуляцией	102
Назарова А.А., Ржечицкий Я.А., Luckenbach T.	Первые шаги в изучении P-гликопротеина коттоидных рыб (Cottoidei) озера Байкал	105
Падалко М.А.	Динамика основных состояний модели Эдвардса—Андерсона при изменении констант связей	112
Пержу А.В., Капитан В.Ю.	Моделирование скирмионов на решетках различных геометрий	118
Салимов М.С.	Четырехмерная интегральная модель сухого трения на примере движения колеса	123
Смирнов П.В.	Хемостратиграфия тавдинской свиты эоцена в краевой части древнего Западно-Сибирского моря	129
Суворов И.А.	Исследование качества текстильной поверхности волоконно-композитного слоя с использованием систем обработки изображений	133
Ташкинов М.А.	Оценка упругих свойств анизотропных сред с использованием машинного обучения на основе многоточечных морфологических характеристик	137

Торопов А.С.	Изучение влияния состава природных вод на миграцию тория в различных формах нахождения методом кластерного анализа	143
Чубаров А.С.	Использование спиновых меток для изучения конформационной мобильности белковых и белково-нуклеиновых комплексов	148
Широкова Ю.А., Гурков А.Н., Якоб Л., Тимофеев М.А., Лукассен М.	Сезонные изменения активности антиоксидантных ферментов у эндемичных байкальских амфипод рода *Eulimnogammarus* и голарктических амфипод *Gammarus lacustris*	151
Шумилин А.И., Аман А., Палис С.	Электроды суперконденсатора на основе высокочистых одностенных углеродных нанотрубок	158

Статьи стипендиатов программы «Иммануил Кант»

Бекин И.А.	Место юмористического в произведениях Лукаса Линдера	165
Климович Л.В.	Научная значимость изучения опыта межэтнического взаимодействия российской эмиграции в 1920—1930-е годы	170
Куликова В.А.	Wo Kunst und Sport sich treffen: Anthroponyme in Vergleichskonstruktionen in Massenmedien	174
Мухамадьярова А.Ф.	Разработка учебного корпуса KoDaF: архитектура, дизайн и возможности использования в обучении немецкому языку	179
Тулусина Е.А.	Литературные воспоминания как средство формирования межкультурной компетенции на уроке иностранного языка	185

Указатель ключевых слов 190

Об управлении верхним показателем Боля линейных периодических систем в бесконечномерных пространствах

В.А. Зайцев

Удмуртский государственный университет (Ижевск)
Univesität Würzburg (Würzburg)

Рассматривается линейная система управления в бесконечномерном пространстве, с непрерывным временем, с переменными линейными ограниченными операторными коэффициентами, периодическими по времени. Управление в системе имеет форму линейной обратной связи по состоянию с переменной линейной ограниченной операторной функцией усиления. Исследуется проблема управления верхним показателем Боля замкнутой системы. Установлено, что если исходная система в точности управляема, то верхний показатель Боля замкнутой системы глобально управляем.

Ключевые слова: *линейная система управления, бесконечномерное пространство, обратная связь, точная управляемость, верхний показатель Боля.*

Одной из классических задач математической теории управления является задача модального управления (или, по-другому, задача размещения собственных значений). В этой задаче требуется для линейной автономной управляемой системы (в конечномерном пространстве)

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

построить управление в виде линейной автономной статической обратной связи по состоянию

$$u = Kx$$

так, чтобы замкнутая система

$$\dot{x} = (A + BK)x$$

имела произвольное (допустимое) наперед заданное расположение спектра собственных значений в комплексной плоскости. В указанной постановке эта задача была решена в работе [1] для комплексного фазового пространства, в работе [2] для вещественного фазового пространства. Исходя из этих результатов, можно сделать выводы о глобальной управляемости других асимптотических характеристик замкнутой системы (таких, как характеристические показатели Ляпунова, генеральные показатели Боля, центральные показатели Винограда и т.п.), в частности выводы о стабилизации управляемых систем. Позже результаты о модальном управлении были обобщены на периодические системы [3], а впоследствии и на произвольные нестационарные линейные управляемые системы с непрерывным временем в конечномерном пространстве [4]. Достаточные условия для глобальной управляемости показателей Боля нестационарных систем в конечномерных пространствах были получены в работах [5, 6].

Задача управления спектром для линейных автономных управляемых систем в бесконечномерном гильбертовом пространстве посредством статической обратной связи по состоянию была решена в работах [7—9]. Перенос этих результатов на нестационарные системы в бесконечномерных пространствах встречает существенные трудности даже на уровне определений: для таких систем требуется корректное и содержательное обобщение понятия спектра. Для таких понятий, как верхний показатель Боля и старший показатель Ляпунова, такое обобщение существует (см. [10]), и возможна корректная постановка задачи об управлении этими асимптотическими характеристиками. В настоящей работе установлены достаточные условия глобальной управляемости верхнего показателя Боля линейной нестационарной периодической системы в бесконечномерном гильбертовом пространстве посредством линейной статической нестационарной обратной связи. Полученные результаты вносят новый вклад в теорию управления асимптотическими характеристиками нестационарных систем в бесконечномерных пространствах.

Рассмотрим линейную управляемую систему

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t) + B(t)u(t). \tag{1}$$

Здесь $t \in R$, $x \in X$ и $u \in U$; X, U — бесконечномерные банаховы пространства; при каждом t операторы $A(t)$: $X \to X$ и $B(t)$: $U \to X$ являются линейными ограниченными операторами; функции $A(t)$, $B(t)$ кусочно непрерывны по t и равномерно ограничены по норме на R. Через $\Phi(t, s)$ обозначим эволюционный оператор [10, с. 147] свободной системы

$$\frac{dx(t)}{dt} = A(t)x(t). \tag{2}$$

Допустимыми управлениями в системе (1) на промежутке $[t_0, t_1]$, по определению, являются функции $u(\bullet) \in L_p([t_0, t_1], U)$, $p \geq 1$. Для всякого допустимого управления $u(\bullet)$ существует единственное решение задачи Коши (1) с начальным условием $x(t_0) = x_0$, выражаемое формулой

$$x(t) = \Phi(t, t_0)x_0 + \int_{t_0}^{t} \Phi(t, s)B(s)u(s)ds.$$

Верхним показателем Боля [10, с. 172] *системы* (2) называется число

$$\beta(A) = \overline{\lim_{\tau, s \to +\infty}} \frac{\ln\|\Phi(\tau + s, \tau)\|}{s}.$$

Верхний показатель Боля системы (2) характеризует асимптотическое поведение решений системы (2): условие отрицательности верхнего показателя Боля является необходимым и достаточным условием равномерной экспоненциальной устойчивости всех решений системы (2).

Определение 1. Система (1) называется *в точности управляемой на промежутке* $[t_0, t_1]$, если для любых $x_0, x_1 \in X$ существует допустимое управление $u(t)$, $t \in [t_0, t_1]$, переводящее решение системы (1) из точки $x(t_0) = x_0$ в точку $x(t_1) = x_1$.

Предположим, что управление в системе (1) имеет вид линейной обратной связи по состоянию

$$u(t) = K(t)x(t), \tag{3}$$

где оператор $K(t)$: $X \to U$ является линейным ограниченным при каждом $t \in R$, функция $K(t)$ кусочно непрерывна по t и равномерно ограничена по норме на R. Операторную функцию обратной связи, удовлетворяющую таким условиям, называем *допустимой*. Замкнутая система (1), (3) принимает вид

$$\frac{dx(t)}{dt} = (A(t) + B(t)K(t))x(t). \tag{4}$$

Определение 2. Говорят, что верхний показатель Боля системы (1) *глобально управляем посредством линейной обратной связи по состоянию* (3), если для любого $\mu \in R$ существует допустимая операторная функция обратной связи $K(\bullet)$ такая, что для показателя Боля замкнутой системы (4) имеет место равенство

$$\beta(A + BK) = \mu.$$

Предположим, что выполнены следующие условия:

(a) X и U — сепарабельные гильбертовы пространства;

(b) система (1) является периодической, т.е. существует $\omega > 0$ такое, что для всех $t \in R$ выполнены равенства:

$$A(t + \omega) = A(t), B(t + \omega) = B(t).$$

Теорема 1. *Пусть выполнены условия (a) и (b). Предположим, что система (1) в точности управляема на некотором промежутке* $[t_0, t_1]$. *Тогда верхний показатель Боля системы (1) глобально управляем посредством линейной обратной связи по состоянию (3).*

Теорема 2. *Пусть выполнены условия (a) и (b). Предположим, что система (1) в точности управляема на некотором промежутке* $[t_0, t_1]$. *Тогда система (1) равномерно экспоненциально стабилизируема с произвольным наперед заданным показателем устойчивости посредством линейной обратной связи по состоянию (3).*

Работа выполнена в рамках совместной программы Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание № 075-00928-21-01) и Германской службы академических обменов DAAD «Михаил Ломоносов (B)» (ID 57515328).

Список литературы

1. Popov V.M. Hyperstability and optimality of automatic systems with several control functions // Revue Roumaine des Sciences Techniques — Serie Electrotechnique et Energetique. 1964. Vol. 9. No. 4. P. 629—690.
2. Wonham W.M. On pole assignment in multi-input controllable linear systems // IEEE Transactions on Automatic Control. 1967. Vol. 12. No. 6. P. 660—665.
3. Brunovsky P. Controllability and linear closed-loop controls in linear periodic systems // Journal of Differential Equations. 1969. Vol. 6. No. 2. P. 296—313.
4. Попова С.Н. О глобальной управляемости показателей Ляпунова линейных систем // Дифференциальные уравнения. 2007. Т. 43. № 8. С. 1048—1054.
5. Макаров Е.К., Попова С.Н. О глобальной управляемости центральных показателей линейных систем // Известия высших учебных заведений. Математика. 1999. № 2. С. 60—67.
6. Зайцев В.А. Ляпуновская приводимость и стабилизация нестационарных систем с наблюдателем // Дифференциальные уравнения. 2010. Т. 46. № 3. С. 432—442.
7. Eckstein G. Exact controllability and spectrum assignment // Operator Theory: Advances and Applications. 1981. P. 81—94.
8. Takahashi K. Exact controllability and spectrum assignment // Journal of Mathematical Analysis and Applications. 1984. Vol. 104. No. 2. P. 537—545.
9. Markus A.S., Olshevsky V.R. Complete controllability and spectrum assignment in infinite dimensional spaces // Integral Equations and Operator Theory. 1993. Vol. 17. No. 1. P. 107—122.
10. Далецкий Ю.Л., Крейн М.Г. Устойчивость решений дифференциальных уравнений в банаховом пространстве. М.: Наука, 1970. 536 с.