



# УСТОЙЧИВОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Москва  
1995





Российская Академия наук

Департамент поддержки развития и управленческих  
услуг Секретариата ООН

Международная инженерная академия

Международная Федерация нелинейных аналитиков

Московский государственный университет (МГУ)



Russian Academy of Sciences  
Department DSMS of the United Nations  
International Academy of Engineering  
International Federation of Nonlinear Analysts  
Moscow State Aviation Institute



Российская Академия наук  
Департамент поддержки развития и управленческих  
услуг Секретариата ООН  
Международная инженерная академия  
Международная федерация нелинейных аналитиков  
Московский государственный авиационный институт (МГАИ)

*INTERNATIONAL CONFERENCE*

*МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ*

**STABILITY AND CONTROL OF TRANSFORMING  
NONLINEAR SYSTEMS**

**УСТОЙЧИВОСТЬ и УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ  
ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ**

June, 27-29, 1995, Moscow

27-29 июня 1995г., Москва

ABSTRACTS

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Moscow  
1995

Москва  
1995

Конференция проводится при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 95-01-03242).

Устойчивость и управление для трансформирующихся нелинейных систем: Международная научная конференция. 27-29 июня 1995 года, Москва: Тезисы докладов/МАИ.

В сборник включены тезисы докладов Международной научной конференции "Устойчивость и управление для трансформирующихся нелинейных систем". В докладах рассмотрены актуальные вопросы математической теории устойчивости и управления для трансформирующихся нелинейных систем и их приложений, по проблемам устойчивого развития трансформирующихся стран и регионов, устойчивости и управления для крупномасштабных транспортных и космических систем.

Тезисы докладов воспроизводятся без изменений с оригиналов, представленных авторами.

Утверждено к печати

Международным Программным комитетом конференции

#### МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Матросов В. М. (Россия)	Мишел А. (США)
Ашимов А. А. (Респ. Казахстан)	Осипов Г. В. (Россия)
Борн П. (Франция)	Рубанов В. А. (Россия)
Васильев С. Н. (Россия)	Румянцев В. В. (Россия)
Груич Л. (Франция)	Савченко А. Я. (Украина)
Доцио М. (Италия)	Самарин Ю. П. (Россия)
Кондратьев К. Я. (Россия)	Сиразетдинов Т. К. (Россия)
Коптюг В. А. (Россия)	Такахара И. (Япония)
Куржанский А. Б. (Россия)	Тихомиров А. А. (ООН, Секретариат)
Лакшмикантам В. (США)	Федосов Е. А. (Россия)
Лай Ш. Л. (ООН, Секретариат)	Фролов К. В. (Россия)
Лиу Х. Д. (Канада)	Фрочниг А. (Австрия)
Мальшев В. В. (Россия)	Черноусько Ф. Л. (Россия)
Матвеев А. М. (Россия)	Шильяк Д. (США)
Месарович М. Д. (США)	Яковлев А. И. (Россия, МИА)
Матросова Нина Ивановна - Ученый секретарь (Россия)	

#### ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

В. М. Матросов - председатель  
М. М. Хрусталева - первый заместитель председателя  
В. В. Баранов - заместитель председателя  
В. В. Доенин - заместитель председателя  
Р. Е. Аранчук  
М. Доцио  
В. П. Зволинский  
К. А. Карп  
П. К. Кузнецов  
Л. К. Кузьмина  
А. В. Лакеев  
Н. Н. Максимкин  
С. М. Мкрчан  
С. А. Савушкин  
Н. Г. Степанова  
Л. Я. Прунцева - Ученый секретарь

В докладе рассматриваются следующие вопросы создания логико-динамических моделей и их применения в интеллектуальных компьютерных системах.

I. Логическая формализация и представление фактов и закономерностей качественной природы в недостаточно математизированных (или алгоритмизированных) областях, а также в задачах, допускающих использование для своего решения как тех или иных вычислительных алгоритмов, так и утверждений, имеющих характер некоторых теоретических или эвристических суждений в дескриптивной или конструктивной семантике.

Примерами таких суждений являются утверждения о функциональных возможностях или ситуациях наиболее эффективного применения указанных алгоритмов. Факты и закономерности, имеющие характер некоторых эвристик либо являющиеся аксиомами, гипотезами, теоремами привлекаемых теорий, будучи записанными в некотором логическом языке, ниже называются логическими знаниями. Эти знания фиксируются в ходе формализации проблемной области, еще до начала решения задачи - в диалоге инженера по знаниям с экспертом или приобретаются в процессе самого решения задачи - автоматически либо тоже в диалоге с экспертом. Логические знания вместе с применяемыми к ним логическими правилами используемого логического исчисления позволяют получать новые логические знания, как теоремы исчисления.

Некоторые формулы используемого логического языка не могут быть выведены логически, но часть из них может проверяться (выводиться) вычислительными алгоритмами. При этом применение этих алгоритмов означает по умолчанию принятие и применение соответствующей дополнительной теории. Формулы, "выводимые" не логическими правилами, а вычислительными алгоритмами, называются нелогическими или теоретическими знаниями.

В частности, предикаты (т. е. простейшие суждения), требующие для своей проверки на истинность-ложность специальных (встроенных, нелогических), например, арифметических, процедур, называются теоретическими ( $4:2=2$ ,  $4:2=I$ ,  $|x|>|x|-2$  и т. д.). Заметим, что это деление знаний условно, ибо, например, если в базу знаний включить аксиомы арифметики, то соответствующие теоретические (арифметические) знания могут стать логически проверяемыми.

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Вопрос о формализации и представлении знаний – это вопросы

а) выбора языка формализации (в нашем случае логического языка);

б) выбора аксиом и правил логического исчисления;

в) целесообразности введения в алфавит языка конкретных предикатных символов ( $\leq$ ,  $>$ , "старше" и т. д.), функциональных символов ( $+$ ,  $-$ ,  $\cdot$ ,  $|$ ,  $\cdot$ ,  $\text{max}$ , ...) и констант ( $0$ ,  $-12$ , "Петр I", ...). Например, вместо введения в язык символа " $\cdot$ " для операции умножения и символа " $=$ " для отношения равенства с последующей аксиоматизацией их свойств, что усложнит логический вывод, можно ввести предикатный символ  $P$  ариности 3, такой что  $P(x, y, z)$  истинно тогда и только тогда, когда  $x \cdot y = z$ , с арифметической проверкой его истинности с помощью встроенной процедуры;

г) целесообразности и возможности полной формализации, поскольку даже в случае возможной полной формализации может быть целесообразна лишь частичная формализация, которая может быть достаточной для решения задачи либо может постепенно углубляться по мере решения задачи или изменения ее постановки (с учетом промежуточных решений).

д) рационализации способа представления знаний с точки зрения эффективности их дальнейшей обработки.

Предлагается использовать ранее разработанный оригинальный язык позитивно-образованных формул (может быть, с частичной формализацией и смешанной семантикой), примыкающий к первопорядковым языкам с типовыми кванторами.

2. В направлении ослабления в приложениях негативного эффекта известного свойства первопорядковых теорий – их неразрешимости (точнее – полурешимости, А. Черч, А. Тьюринг), усиливающегося на практике при ресурсных ограничениях, предлагается метод последовательного порождения все более длинных дополнений в текст доказываемого утверждения (III-метод) для обеспечения его принципиальной доказуемости или ускорения доказуемости, по мере возникновения трудностей с доказательством.

Среди этих трудностей могут быть следующие:

– неприменимость правил вывода (базовой логики);

– исчерпание ресурса непрерывного доказательства (утверждение не доказано, хотя, например, время, отпущенное на доказательство, исчерпано и доказуемость-недоказуемость остается неизвестной);

– наблюдаемая оракулом бесцелесообразность дальнейшего доказательства и целесообразность прерывания доказательства.

В последнем случае возможность продолжения доказательства существует, но налицо некоторые признаки бесполезности (с точки зрения оракула) непрерывного доказательства и целесообразности введения новой порции информации посредством порождения (наращивания) дополнений и их использования на новой итерации доказательства. В процессе доказательства с дополнениями оно может быть завершено или построенное дополнение, по мнению оракула, может быть легко преобразовано в окончательный текст достаточного условия доказуемости исходного утверждения.

Доказано, что, если порождение (и наращивание) дополнений III-метода осуществляется только в случае неприменимости правил вывода, то построенные новые части являются логически неулучшаемыми (необходимыми и достаточными).

Применение к построенным дополнениям некоторых новых логических правил, аналогичных правилам индуктивного приобретения знаний (правилам обобщения первопорядковых формул, объяснения примеров и т. д.), позволяет учесть другие критерии нетривиальности дополнений.

Таким образом, III-метод либо доказывает утверждение, либо порождает условия (необходимые и достаточные либо только достаточные) его доказуемости. Поэтому основное свойство метода – это то, что он, формально говоря, позволяет всякую проблему доказательства сделать практически разрешимой и это открывает целый спектр потенциальных приложений III-метода.

Более частные преимущества предлагаемого перед известными методами: возможность глобального взгляда на вывод и более эффективно управлять выводом, как дедуктивно-индуктивным процессом; простота и естественность представления знаний, совместимость с эвристиками; возможность логического синтеза человеко-машинного диалога и расширения известного "узкого горлышка" ("bottleneck") приобретения знаний от экспертов, возрастание полезности III-метода с усложнением подлежащих объяснению примеров (в известных методах индуктивного приобретения знаний исходное утверждение, как правило, является конъюнкцией простейших суждений).

3. Вводится понятие логико-математической модели как совокупности знаний, представленных в языке формализации, и двух типов алгоритмов, объединенных общей стратегией поиска и уско-

рения вывода:

а) логических процедур III-метода и б) калогических (встроенных) процедур проверки теоретических предикатов.

Если среди знаний имеются некоторые аксиомы динамики (например, аксиома существования следующего момента времени) либо среди нелогических процедур имеются процедуры, использующие результаты той или иной математической теории динамических систем (например, теории обыкновенных дифференциальных уравнений), то логико-математическая модель называется логико-динамической. Целесообразен учет специальных эвристик предметной области в общей стратегии поиска и ускорения вывода. Например, такие дополнительные управляющие эвристики могут иметь характер ограничений на использование тех или иных аксиом динамики (упомянутая аксиома времени с учетом ограниченности ресурсов используется не в каждом цикле обхода аксиом - для сокращения количества одновременно рассматриваемых дискретных моментов времени).

4. Приводятся некоторые примеры применения логико-динамических моделей в задачах исследования, проектирования и управления информационными, техническими и др. системами. Укажем направленность потенциально возможных приложений: восстановление утраченных (отсутствующих) фрагментов утверждений, порождение нетривиальных гипотез и следствий, логический синтез интеллектуального диалога, "проталкивание зависших программ", приобретение знаний от экспертов, надежная обработка "ненадежных" текстов, логическое моделирование процессов и логический выбор рациональных управлений, проектирование гарантированно правильных программ и цифровых устройств, дедуктивно-индуктивный синтез математических и других теорем, интеллектуальная диагностика и формирование тестов-пригодных воздействий на систему, автоматизация планирования вычислений и реконфигурация программ и устройств и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Vassilyev, S.N. Machine synthesis of mathematical theorems. *The Journal of Logic Programming*, 1990, 9, N 2 & 3, 235-266.
2. Матросов, В.М. & Васильев, С.Н. и др. *Алгоритмы вывода теорем метода векторных функций Ляпунова*. Наука, Новосибирск, 1981.
3. Muggleton, S. *Inductive acquisition of expert knowledge*. Turing Institute Press, Addison-Wesley Publ. Company, Wokingham, 1990.
4. Васильев, С.Н. & Жерлов А.К. *Логическое моделирование и управление в реальном времени*. В сб. "Интеллектуальные системы в машиностроении", под ред. В.А.Виттиха, Самарский филиал Института машиноведения РАН, Самара, 1991, ч.2, с. 33-38.

Маликов А.И. (Россия, г.Казань)

#### УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРОЙ

Рассматриваются комплекс вопросов, связанных с обеспечением устойчивости систем управления с структурными изменениями, вызванными возможными отказами элементов, сбоями в подсистемах приема, передачи, обработки информации и принятия решения, неопределенными внешними воздействиями: способы функционального диагностирования элементов и оптимизация состояния структуры, способы анализа устойчивости с применением методов функций и вектор-функций Ляпунова (ВФЛ). Математические модели таких систем содержат описание двух уровней динамики: дискретное изменение структуры и непрерывное изменение координат в каждом структурном состоянии. В качестве моделей изменения структуры рассматриваются логические автоматы и марковские процессы с конечным числом состояний. Метод векторных функций Ляпунова развивается для исследования устойчивости нелинейных логико-динамических систем управления и систем со случайными структурными изменениями. В качестве ВФЛ берутся вектор-функции с компонентами в виде матричных функций для каждого структурного состояния.

Даются приложения к анализу устойчивости систем управления с отказами датчиков и исполнительных органов.

Способы анализа систем управления со структурными изменениями применяются к анализу устойчивости функционирования и развития предприятия, при структурных преобразованиях.

Предлагаются алгоритмы выбора номенклатуры и объемов производства продукции исходя из финансовой выгоды и имеющейся структуры основных производственных фондов, производственного персонала, оборотных средств. Исследуются вопросы установления равновесного режима производства во взаимосвязи с равновесием цен на рынке факторов производства. Решается задача обеспечения устойчивости функционирования и развития предприятия путем приведения в соответствие структуры используемых оборотных средств, и структур имеющихся основных производственных фондов и производственного персонала структуре выпускаемой продукции, которая в свою очередь выбирается исходя из структуры спроса, складывающейся на рынке готовой продукции. На примерах продемонстрированы возможности предлагаемых моделей и алгоритмов.

Для решения задач глобальной связи, навигации, метеорологических наблюдений и др. применяются группы согласовано действующих в совместном орбитальном полете космических аппаратов (КА). Такая группа КА по существу представляет собой динамическую систему, которая совместно с наземными техническими комплексами образует трансформирующуюся космическую систему (КС). Для успешной эксплуатации КС необходимо решить ряд проблем, связанных с синтезом оптимальных структур таких систем, анализом структурной изменчивости системы под действием возмущений, а также с управлением как отдельными КА в составе системы, так и КС в целом.

Задача построения КС состоит в определении таких ее характеристик, при которых обеспечивается решение возложенных на КА задач. Вследствие большого количества характеристик системы поиск их оптимальных значений путем простого перебора не реализуем из-за недопустимо больших вычислительных затрат.

Для решения задач синтеза трансформирующихся КС различного назначения используется итеративный подход, суть которого заключается в разделении процесса синтеза на несколько последовательных этапов. На первом этапе решается задача синтеза идеальной системы. При этом выбирается несколько различных структур системы, обеспечивающих решение возложенных на нее задач. На следующих этапах уточняется структура КС на все более полных моделях, позволяющих более адекватно учесть реальные свойства системы и действующие на нее возмущения. Так, за несколько циклов усложнения моделей находится оптимальная структура синтезируемой системы.

Приводятся примеры управления КС.

#### Литература

1. Лебедев А. А., Баранов В. Н., Красильщиков М. Н., Бобронников В. Т., Малышев В. В., Нестеренко О. П. Основы синтеза систем летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1987.
2. Решетнев М. Ф., Лебедев А. А., Бартенев В. А., Красильщиков М. Н., Малышев В. А., Малышев В. В. Управление и навигация ИСЗ на околокруговых орбитах. - М.: Машиностроение, 1988.
3. Лебедев А. А., Нестеренко О. П. Космические системы наблюдения. Синтез и моделирование. - М.: Машиностроение, 1991.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ И ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ.

В современных условиях, связанных с глубочайшим экономическим кризисом в РФ, экологическими угрозами, возникающей неуправляемостью технического прогресса и социально-политической сферы, в числе глобальных проблем, стали в высшей степени актуальными стратегические проблемы безопасности и неустойчивости развития, имеющие общенациональный характер и долгосрочные (10 и более лет) последствия, наносящие ущерб на федеральном уровне.

В связи с ликвидацией военного противостояния и уменьшением угрозы глобальной ядерной катастрофы, наибольшую опасность для РФ представляют сейчас внутренние угрозы и угрозы, инициированные извне, но реализующиеся внутри страны, такие как кризис управляемости хозяйственным комплексом страны; разграбление страны и разрушение экономического потенциала; дестабилизация финансовой системы; расхищение и истощение невозобновляемых природных ресурсов, особенно энергоносителей; социальная нестабильность, связанная с резким понижением уровня жизни подавляющего большинства населения; международные конфликты, политическая дестабилизация; возможные техногенные катастрофы на атомных, транспортных и др. объектах;

Из внешних угроз к сохраняющимся военно-политическим угрозам добавилась внешнеэкономическая угроза превращения России в сырьевой придаток развитых стран, лишения ее статуса великой державы.

Выход может быть найден на пути активных действий государства по обеспечению безопасности и перехода РФ на стратегию устойчивого развития.

Для исследования существенно нестационарных экономических процессов, стратегических проблем экономической безопасности и устойчивости экономического развития авторами разработана система высокоагрегированных математических моделей экономики и транспортного комплекса России.



В основу математического описания системы моделей положена динамическая модель межотраслевого баланса, позволяющая унифицированно описать как нетранспортные отрасли материального производства (5 или 19 отраслей), так и подсистемы транспортного комплекса (16 подсистем).

Классическая динамическая модель межотраслевого баланса дополнена уравнениями динамики цен и финансовым блоком, отражающим современные нестабильные рыночные отношения, уравнениями динамики народонаселения и рабочей силы по отраслям, блоком потребления и уровня жизни, спроса-предложения, госбюджета, экспорта-импорта, оттока средств в криминальные структуры.

Нетрадиционными элементами модели являются: метод формирования спроса на продукцию отраслей, не участвующую в производственном потреблении; учет возрастной структуры инвестиций, в случае, когда отдача от капиталовложений имеет значительное запаздывание (например, строительство железных дорог); учет запаздывания времени производства-продажи продукции от времени формирования набора оборотных фондов (длины производственного цикла), разделение отраслей по способу формирования цены на продукт отрасли-диктаторы (транспорт, электроэнергетика) и отрасли, в которых цена продукта определяется рынком.

Данная работа продолжает исследования, начатые в [1].

#### Литература

1. Матросов В.М., Хрусталева М.М., Арнаут О.В. и др. О высокоагрегированной модели развития России / Сб. Analysis of Development Instability on the Base of Mathematical Modelling. М.: Изд. Отдела фундаментальных наук ЮНЕСКО и Московского офиса Международной федерации нелинейных аналитиков. 1993.

## ПАССИВНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ДВИЖЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К.Пайффер (Бельгия), А.Я.Самченко (Донець, Украина)

Пусть механическая система описывается гамильтонианом  $H(x, y, u, a)$ , где  $x = (x_1, \dots, x_n)$ ,  $y = (y_1, \dots, y_n)$  - соответственно обобщенные координаты и импульсы;  $u = (u_1, \dots, u_m)$ ,  $a = (a_1, \dots, a_p)$  - параметры, характеризующие изучаемую систему;  $H(0, 0, u, a) = 0$ . Тогда существует eq стационарное движение, полагаемое устойчивым, которому соответствуют значения  $x = y = 0$ . Очевидно, что при достаточно малых возмущениях начальных данных рассматриваемая механическая система совершает малые нелинейные колебания. Возникает вопрос, каким путем организовать управление, чтобы эти колебания стали затухающими. Простейший путь - обеспечить диссипацию энергии вдоль каждой обобщенной координаты. Однако на практике возникают ситуации, когда это невозможно сделать (колебания спутников). Другой путь - организация активного управления, но при этом возникает дополнительный расход энергии. В настоящем сообщении предлагается другой путь, связанный с введением  $m$  дополнительных степеней свободы - «размораживанием» параметров  $u$ , вдоль которых происходит диссипация энергии. Параметры  $u$  становятся функциями времени, а вся система имеет  $m + n$  степеней свободы. Если в результате выполняется условие  $x_i(t) \rightarrow 0$ ,  $y_i(t) \rightarrow 0$ ,  $u(t) \rightarrow u_0$ , при  $t \rightarrow \infty$ , то говорим, что мы организовали «пассивную стабилизацию решения  $x = y = 0$  путем размораживания параметров». Доказано существование решения такой задачи с помощью метода одного из авторов построения функции Ляпунова в критическом случае  $n$  пар чисто мнимых корней. Приведены содержательные примеры, обнаруживающие нелинейные эффекты пассивной стабилизации.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭКОНОМИКИ ПЕРЕХОДНОГО ПЕРИОДА

А.А.Петров

(Вычислительный центр РАН)

Процессы в нашей экономике после 1992 г. не относятся к числу тех, которые изучаются в традиционных макроэкономических теориях. Чтобы понять, что происходит в России, надо выработать научный язык, на котором можно системно обсуждать структуры, возникающие в процессе перехода к новому экономическому укладу. Он дает возможность конструктивно сопоставлять разные точки зрения на базе оценки последствий вариантов макроэкономических решений по разным критериям. Мы полагаем, что подходящий язык можно создавать на основе относительно небольших, но хорошо структурированных математических моделей, явным образом описывающих взаимодействия главных экономических агентов, влияющих на производство, обмена и распределение основных видов продукции.

В течение почти двадцати лет в отделе "Математическое моделирование экономических систем" Вычислительного центра РАН такие модели разрабатываются в рамках научного направления *Системный Анализ Развивающейся Экономики*.

В представленном докладе обсуждаются следующие вопросы:

- основные идеи и методы Системного Анализа Развивающейся Экономики
- результаты системного анализа экономических структур, возникших в России после реформы 1992г. и исследование возможности правительства регулировать экономику в создавшихся условиях, последствий макроэкономической политики и ее потенциально опасных вариантов
- проблемы, которые предстоит еще решить и программа исследований.

Разработана математическая модель, в которой описаны стратегии и отношения экономических агентов: производителей, населения импортеров, экспортеров, банков, государства, -- которые существенно влияли на характер воспроизводства в послереформенный период. Макроэкономическая политика описана кредитами ЦБ, реальными гос- закупками продукции, налогами в госбюджет, выплатами и индексацией доходов населения из госбюджета.

Результаты расчетов представляются в виде системно согласованных временных рядов основных макроэкономических показателей. Модель качественно верно описывает основные макроэкономические процессы в России после 1992г. Проанализированы возможные последствия различных вариантов государственной макроэкономической политики и выявлены потенциально экономически опасные варианты: они могут вызвать гиперинфляцию, которая приведет к прекращению производства.

Rayevsky V. A., Matrosov V. M., Somov Ye. I.  
(Russia, Krasnoyarsk - Moscow - Irkutsk)

## MATHEMATICAL METHODS AND SOFTWARE FOR DYNAMIC INVESTIGATIONS OF SPACECRAFT'S FAIL-SAFE GYROMOMENT ATTITUDE CONTROL SYSTEMS

We present new results on creation and employment of mathematical methods, algorithms and software for dynamic investigations of fault tolerant gyromoment attitude control systems (ACS) of multipurpose and specialized spacecrafts (SC) for communication, navigation and land-survey [1].

Considered are elaborated mathematical models with different detalization levels for describing gyromoment ACS of a flexible weakly-damped satellites, methods for stability analysis and synthesis of nonlinear robust algorithms of discrete filtering and moment gyrocomplexes (MGC) digital control [2] taking into account signal multiple quantization and delay introduced by the on-board computer [3].

Digital control algorithms for functionally-excessive ACS's MGC on the basis of reaction wheels, various types of gyro-wheels, gyrodynes and their combinations with additional desaturational loops of accumulated angular momentum, in the regime of their reconfiguration executed in cases of failures in some MGC devices, with retaining the accuracy of SC orbital gyromoment stabilization, are described.

We also suggest some mathematical results of dynamical investigations and results of numerical modelling SC gyromoment ACS dynamics in standard, reserve and emergency regimes obtained by the elaborated software and compare these results with test and exploitation [4] data.

This work was sponsored by the RFFI (Grant 94-OI-OI497I).

## R e f e r e n c e s

- [1] Reshetnev M. f., Rayevsky V. A., Titov G. P., Matrosov V. M., Somov Ye. I. (1994) "Fail-safe gyromoment attitude control systems of communication, navigation, and land-survey satellites". - Proc. of the Intern. Conf. on Satellite Communication, Vol. II. - Moscow. - pp. 6-10.

- [2] Matrosov V.M., Reshetnev M.F. (Eds.) (1992) "Dynamics and Control of Space Objects". -Nauka Publ., Novosibirsk.-2IIp.
- [3] Rayevsky V.A., Somov Ye.I. (1991) "Orbital gyromoment stabilization dynamics of flexible object under incomplete discrete measurement and delay in control". - Proc. VII All-Union Congr. on Theor.& Appl. Mechanics. - Moscow. - p. 297.
- [4] Zaitsev Yu.I. (1994) "Russian Space Launches, 1993". - Space Bulletin, Association for the Advancement of Space Science and Technology. - Gordon and Breach Science Publ., Vol. I, No. 4. - pp. 26-29.

#### On the development during the transition period

Jerzy W. Holubiec  
Polish Academy of Sciences  
Systems Research Institute

In the first part some considerations concerning the non-classical approach to economic modelling for the transition period are presented. The Polish case is utilised as practical example. The second part concerns the possibilities of changes in the organization of some regions of the world due to the politico-economic transition period. Special attention is paid to Central and Eastern Europe. Various scenarios are analysed.

#### STAINING DEVELOPMENT IN RUSSIA

Robert Feinschreiber, Attorney  
1121 Craudon Boulevard  
Key Biscayne, Florida, USA 33149

This paper will address two broad parameters for sustaining the development in Russia:

- I. EVALUATION OF RUSSIA'S TRANSITIONAL PERIOD
- II. SUGGESTIONS FOR RUSSIA'S FUTURE

#### I. EVALUATION OF TRANSITIONAL PERIOD : 1991-1995

During the recent four years, Russia became a democracy, the largest transformation to democracy ever attempted anywhere and at any time. Russia achieved four freedoms:

Intellectual freedom - to speak and to be heard  
Free elections  
Freedom of the press  
Freedom of religion

However, during the same time period, Russia suffered from a number of economic difficulties; economic difficulties that are part and parcel of the new freedoms in Russia.

The transition between the end of the command economy and the inception of the market economy has been painful for Russia. At its simplest level, the economic transition could be viewed as having three stages:

1. Complete control during the communist period
2. Economic disarray during the transition period
3. Restructuring and economic growth after the end of the transition period.

The transition to market economy has brought about an economic "power vacuum" in Russia. Government control has gone, but private sector institutions have not started to have positive impact on the Russian economy. Privatization remains uneven, and foreign investment in the economy of Russia remains small. The once-heralded safety net is virtually gone, unemployment is up; and, at the present time, there is no mechanism to provide meaningful employment for millions of Russians. The decline in the GNP causes a decline in peoples' expectations. A decline in expectations could lead to social unrest, to the proliferation of extremist political parties of the left or the right, to geographic regionalization, and to crime.

Before the transition to market economy began, Russians could view themselves as cogs in a big enterprise. In contrast, under the transition to market economy, Russians had to seek and obtain material, labor, and technology to produce their products and then develop a distribution network for the products. This transition process takes time. When the restructuring is completed, Russia is better able to compete in the market economy.

It is my belief that Russia's economic malaise is only temporary; and, with the adoption of the plan that I have developed, Russia will be positioned to sustain the

development that we all are seeking. In this regard, I have put forth a plan to address the major items. While many people in Russia were euphoric about achieving democracy, the cold and harsh economic reality has set in. As a consequence, I strongly suggest that Russia turn its attention to these economic changes in an expeditious manner.

## II. SUGGESTIONS FOR RUSSIA'S FUTURE

I am suggesting 15 actions that Russia should take to enhance its future.

1. Central planning - and implementation
2. Infrastructure Improvements
3. Special economic zones
4. Political Stability and Foreign Investment
5. Enhancing living standards
6. Controlling and Monitoring Inflation
7. Improving the legal structure
8. Taxation
9. Crime
10. The Expatriate Community and Ethnic Groups
11. Foreign Affairs
12. Homesteading and the Frontier
13. Export and Import policy
14. Tourism
15. Eliminating bureaucracy

## СЕКЦИЯ I: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХСЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ.

Баранов В.В. (Россия, Москва)

### СТРУКТУРЫ, МОДЕЛИ И МЕТОДЫ НАПРАВЛЕННОГО РАЗВИТИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ.

Проблема направленного развития формализуется на основе следующих постулатов:

- R1. Развитие состоит в направленном изменении структуры системы.
- R2. Существует множество альтернатив, определяющих возможные направления развития, от которых зависит структура как от параметра.
- R3. Направленность развития достигается выбором альтернативы развития и структуры, при которых достигается наибольшая эффективность системы.
- R4. Эффективность развития оценивается по ожидаемым результатам функционирования и его оценка достигается при наиболее выгодных режимах функционирования.
- R5. Развитие требует расходования ресурсов. Оценка эффективности развития зависит от количества ресурсов, необходимых для его реализации.
- R6. Реализация направленности развития порождает систему динамического принятия решений по совместному выбору наиболее эффективных альтернативы развития, структуры системы и режимов функционирования.

Из условий сформулированных постулатов вводится структура направленного развития, определяемая набором следующих объектов:

$$\mathfrak{R} = \{ G, R, X, Y, \{ Y_x \subset Y, x \in X \}, Z, Q_g(Z|Z \times Y), w_g(Z \times X \times Y), \delta, \lambda, T \},$$

где  $G$  - множество целевых альтернатив развития;  $R$  - множество ресурсов;  $X$  - множество ситуаций, определяющих условия принятия решений;  $Y$  - множество управляющих альтернатив, определяющих допустимые

## УСТОЙЧИВОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ НА КОНЕЧНОМ Т-ИНТЕРВАЛЕ ВРЕМЕНИ

мые режимы функционирования;  $Y_x \subset Y$  - ограничения на допустимость управляющих альтернатив в зависимости от ситуаций  $x \in X$ ;  $Z$  - множество исходов;  $Q_2(Z|Z \times Y)$  - переходная функция из  $Z \times Y$  в  $Z$ , зависящая от альтернативы развития, как от параметра;  $w_2(Z \times X \times Y)$  - функция полезности, представляющая предпочтения на  $Y$  в зависимости от условий  $(x, y^1 \in X \times Y)$ ;  $\beta$  - правило последовательного формирования ресурсов;  $\lambda$  - правило формирования множества альтернатив  $Y$  в зависимости от ресурсов;  $T$  - горизонт планирования.

На основе указанных постулатов и структуры строится структура и модель направленного развития сложных иерархических систем, состоящих из набора  $K$  слабозависимых подсистем.

Разработаны вычислительные алгоритмы направленного развития, обеспечивающие устойчивость развития на заданном горизонте  $T$ .

Рассмотрены приложения к проблематике направленного развития сложных экономических систем в условиях рыночного экономического механизма.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

**Задача.** Требуется найти конечный интервал времени, в течение которого траектория устойчивости на бесконечном интервале (асимптотически устойчивой, устойчивой в целом) системы попадает в состояние равновесия наиболее быстрым образом и остается на нем.

Будем рассматривать уравнения возмущенного движения:

$$\frac{dx}{dt} = X(x, t), \quad X(0, t) = 0, \quad (1)$$

$$x(t_0) = x_0, \quad t \in [t_0, \infty)$$

где  $x \in E^n$ ,  $X(x, t)$  —  $n$ -мерная вектор функция, удовлетворяющая условиям теоремы существования и единственности решения системы (1).

**Определение.** Невозмущенное движение  $x=0$  системы (1) будем называть  $T$ -устойчивым (асимптотически  $T$ -устойчивым или  $T$ -устойчивым в целом), если система (1) устойчива по Ляпунову и существует конечный момент времени  $t_1 \in (t_0, \infty)$ , что  $x(t)=0, \forall t \geq t_1$  где  $T = t_1 - t_0 < \infty$  решает задачу оптимального быстрогодействия.

Справедлива следующая теорема.

**Теорема.** Если для уравнения возмущенного движения (1) найдется определенно-положительная функция  $v(x, t)$ , полная производная которой по времени  $t$  в силу системы (1) удовлетворяет неравенству:

$$\dot{v}(x(t), t) \leq -k(t), \quad k(t) > 0, \quad t \in [t_0, \infty)$$

где  $k(t)$  — неубывающая функция  $T = t_1 - t_0 < \infty$  и  $t_1$  определяется из условия

$$\int_{t_0}^{t_1} k(t) dt = v_0, \quad v_0 = v(x_0, t_0)$$

то невозмущенное движение  $T$ -устойчиво.

В работе также рассмотрена  $T$ -управляемость нелинейных систем управления.

## СТАБИЛИЗАЦИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ, ОПТИМИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ФАЗОВЫХ СИСТЕМ

Рассматривается задача оптимального управления системами обыкновенных дифференциальных уравнений. К таким задачам приводят многие прикладные задачи, в частности, задачи оптимизации многомерных фазовых систем и др.

Рассмотрим следующую задачу оптимального управления: минимизировать функционал Больца.

$$I(u) = I(x_1, \dots, x_n) = \frac{1}{2} \int_{t_0}^T (\dot{x}_i^2 + r_i \rho_i^2) dt + \lambda(x(T), y(T)) \quad (1)$$

при условиях

$$\frac{dx_i}{dt} = y_i, \quad \frac{dy_i}{dt} = -\lambda_i y_i - f_i(x) + b_i \rho_i$$

$$x_i(t_0) = x_{i0}, \quad y_i(t_0) = y_{i0}, \quad i = \overline{1, n}, \quad t \in [t_0, T] \quad (2)$$

$$x = \{x_1, \dots, x_n\}, \quad y = \{y_1, \dots, y_n\}$$

где  $u_i \in R^1$  — скалярное непрерывное управление;  $f_i(x)$  — непрерывно дифференцируемая функция, удовлетворяющая условию интегрируемости:

$$\frac{df_i(x)}{dx_k} = \frac{df_k(x)}{dx_i} \quad (\forall i \neq k) \quad (3)$$

Проблема синтеза для задачи (1)–(3) заключается в построении  $u_i = u_i(x, y)$ ,  $i = \overline{1, n}$  называемой синтезирующей функцией этой задачи и представляющей собой значение оптимального управления при условии, что в момент  $t$  система (2) находится в точке  $(x, y)$ , т. е.  $(x(t) = x, y(t) = y)$ .

Для данной задачи получены необходимые и достаточные условия оптимальности нелинейных систем. Осуществлен синтез оптимальных систем управления для нелинейных и стационарных систем с помощью первых интегралов при наличии ограничений на управление. Решена задача стабилизации позиционной модели электро-энергетических систем на основе метода функции Ляпунова.

## ПОСЛЕКРИТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СУЩЕСТВЕННО НЕКОНСЕРВАТИВНЫХ ИЗМЕНЯЕМЫХ СИСТЕМ

В.В.Волотин,<sup>+</sup> А.А.Гришко,<sup>+</sup> А.В.Петровский,<sup>++</sup> Д.Б.Холодарь,<sup>++</sup>  
С.А.Юшин<sup>++</sup>

Рассмотрено поведение изменяемых систем (типа двухзвенного или многозвенного маятника) под действием "следящих" сил и сил тяжести. Изучена устойчивость форм равновесия, соответствующая значительным изменениям конфигурации системы. Особое внимание уделено автоколебательным режимам, а также вторичным и последующим бифуркациям. Показано сильное влияние соотношений между парциальными коэффициентами демпфирования на устойчивость форм равновесия и послекритическое поведение.

<sup>+</sup> Институт машиноведения РАН

<sup>++</sup> Московский энергетический институт / Технический университет


Marziano B. L. Dozio

Institute of Applied Mathematics, University of Pisa, Via  
 Bonanno, 258, I-56126 Pisa, Italy. International Laboratory  
 "Stability, Control and Intellect" of IISA, P.O. Box 11,  
 Moscow 117019, Russia

ABSTRACT

Man is the essential part of Noosphere, as it has been properly claimed by Edouard Le Roy, Pierre Teilhard de Chardin (1927), and Vladimir Ivanovich Vernadskij. Within the physical, ethereal, astral, and mental body of man, heart is the main source of life - both physiological and spiritual.

i) Physiologically, as already Aristotle understood when he called the heart «Acropolis of the Body» (cf. Aristotle, *The Organs of Animals*), and later confirmed by William Harvey in XVII century who first laid the correct dynamical foundations for physiology by his famous discovery of the circulation of the blood (1628) - which has been the most important meaningful event in the history of physiology - and by Stephan Hales in XVIII century, who gave the real dynamical completion of Harvey's still descriptive result, by shewing the elasticity of the vessels to be the key for the mechanical explanation of the circulation of the blood - the *Windkessel* model - (1733) (cf. S. Hales, *Statistical Essays. Containing Haemostatiks, etc.*).

ii) Spiritually, as claimed by ancient Egyptians (cf., e.g., Giuseppe Catapano, *Thot, Tat* (  ) parlava Albanese), and by the Indian and Tibetan thought (heart-chakra) (cf., e.g., Sri Aurobindo Ghosh, *The Synthesis of Yoga. सावित्री (Sāvitri)*), and confirmed by different cultural streames (Mazdeism (Zarathushtra), Sufism (Jalaluddin Rumi, Omar Khayyam), קבלה (Qabbala), etc.) till our days (cf., e.g., Edmondo De Amicis, *Cuore*).

iii) Physiologically and spiritually, as a whole - and this one is the only really fascinating approach - : deep and close interaction among the different bodies of the

Дегтярев Р.А., Меданов А.С., Сиразетдинов Т.К.

(Россия, Казань)

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЯМИ ПРИ  
 ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗАНАЗНАЧИВАЮЩИХ В ИЗМЕРЕНИЯХ И ЛИБО ПРИМЕНЯЕМЫХ В  
 ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В работе систем с переменной структурой, обладающих на скользящих режимах инвариантностью к неопределенным возмущениям, остаются неисследованными возможности таких режимов при неопределенных ошибках измерений  $\Delta X$ , а также при известных уравнениях датчиков состояния и при запаздываниях в передаче и обработке данных измерений. В этой связи рассматривается нелинейная система

$$\dot{x} = f(x, t) + B(x, t)u + D(x, t)F(t), \quad (I)$$

где  $x \in R^n$ ,  $u \in R^m$ ,  $t \in I = (t_0, t_k]$ ,  $t_k < \infty$ ,  $f = f_0 + \Delta f$ ,  $B = B_0 + \Delta B$ ,  $D = D_0 + \Delta D$ ,  $F = F_0 + \Delta F$  и слагаемые  $\Delta f$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta D$ ,  $\Delta F$  состоят из неопределенных ограниченных элементов, а для формирования управления применяется вектор  $x_g = x + \Delta x$  показаний датчиков.

Решены задача определения условий инвариантности в системе (I) на скользящих режимах на  $(n-m)$ -мерных подвижных многообразиях  $S_g (S_g = (S_{g1}, \dots, S_{gm})^T = C_g(t)x_g = 0)$  к неопределенным и известным возмущениям  $\Delta f$ ,  $\Delta B$ ,  $\Delta D$ ,  $\Delta F$  и  $F_0$  и задача тождественного или с заданной точностью воспроизведения в системе (I) движения модельной системы

$$\dot{x}_M = f_0(x_M, t) + B_0(x_M, t)u_M$$

с оптимальным в каком-либо смысле управлением  $u_M$  в скользящем режиме на многообразии  $S (S = C(t)\Delta x = 0)$  при известных уравнениях датчиков. Получены новые методы формирования матриц  $C_g(t)$ ,  $C(t)$  и разрывных управлений  $u$ , приводящих систему (I) в скользящие режимы. При невыполнении условий инвариантности для воспроизведения с заданной точностью предлагается многошаговый скользящий режим с построением матриц  $C_g$ ,  $C$  заново в начале каждого шага  $I_i = (t_i, t_{i+1})$  разбиения промежутка  $I$ ,  $i = 0, K-1$ . Модельное управление  $u_M$  формируется по любому из известных принципов управления. Показано применение предлагаемых методов управления для вывода агрегированной системы экономических объектов на заданную мощность.

Human being (cf., e.g., Mère (Mirra Alfassa), *Agenda de Mère* (Satprem, ed.); Satprem, *Mère*). But this, is a work which is in a very early beginning and roads are still to be opened.

Even in the limited field of physiological approach, in spite of a great interest on the matter, no enough deep explanation of the pulse wave propagation in arterial vessels is so far given. And this, due to the very high intricacy and complexity of the human systemic arterial tree because of its numerous branches, nonuniform cross-section, and the rich harmonic composition of its pressure and flow pulses.

Our research is addressed to working out a model which takes into account several features - both geometrical and biophysical - of the blood circulation. Starting point of the investigations does consist in a system of elements of an electrical transmission line - by making use of the electrical analogies - as approximation of the arterial blood vessels from the aortic arch to the legs. Our model is based on the technique of tapered tubes, i.e., linear stationary nonuniform transmission lines, it employs five parameters, and already in starting tests it has provided accurate information about the diagnostic meaning of the pulse curve parameters concerning stenotic alterations.

In this paper, we shall give solution for the particular case in which all the parameters of the system vary unidimensionally with the space in the same ideal way (here, called platonic system). By making use of the Laplace transformation with respect to the time, we can determine the fundamental matrix and the transfer matrix of the system (both usually impossible to find, unless through fortuitous circumstances, also due to the presence of essential singularities in the finite part of the complex plane). Thus, we can get solution by convolution products on  $\mathbb{R}^+$ , and integrals on  $\mathbb{R}^+$  which are well fit for numerical calculation, at least for instants not very little.

## SUFFICIENT CONDITIONS OF GLOBAL ASYMPTOTIC STABILITY FOR NONLINEAR SYSTEMS.

Consider a system:

$$\dot{x} = F(x), \quad x(0) = x_0, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad F(x) = \{f_i(x)\}_{i=1}^n \in \mathbb{R}^n, \quad F(0) = 0$$

and its matrix description

$$\dot{x} = B(x)x; \quad B(x)x = F(x)$$

Here  $B(x)$  is defined up to the  $(n \times n)$ -matrix  $N(x)$ ;  $N(x)x = 0, \quad x \in \mathbb{R}^n$

Consider

$$\dot{x} = A(x)x, \quad A(x) = \int_0^1 J(x\alpha) d\alpha; \quad J(x) = F'(x) = \begin{Bmatrix} \partial_x f_1 \\ \partial_x f_2 \\ \vdots \\ \partial_x f_n \end{Bmatrix}_{x=x}$$

The matrix is defined unambiguously for (1), i.e. if  $A(x) + N(x) = \int_0^1 J(x\alpha) d\alpha$ , then  $N(x)x = 0$ .

$x \in \mathbb{R}^n$ .

The goal of this paper is to determine characteristics of  $A(x)$  which provide the global asymptotic stability for (1).

We can state our goal by another words. Let the matrix  $A(x)$  to satisfy conditions of Aizerman hypothesis generalized for  $l$  nonlinear  $f_i(x), \quad 1 \leq i \leq n$ . We intend to define additional conditions on  $A(x)$  that provide the global asymptotic stability for (1).

The main result is realized by

**Theorem:** consider (1) and its matrix description  $\dot{x} = A(x)x$ , where  $A(x)$  is defined by (3).

Assume following conditions:

1.  $\operatorname{Re} \lambda_i(A(x)) < 0 \quad |x| < \infty \quad i = \overline{1, n}$
2.  $A(x) \in C_1 \quad |x| < \infty$
3.  $\exists M < \infty \quad \operatorname{Sp}(A(x)A^*(x)) / \sqrt{\det(A(x)A^*(x))} \leq M$

Then the system (1) is globally asymptotically stable.

It is essential that  $A(x) \in C_1$  ( $C_1$  is the class of continuously differentiable functions) instead of  $C$  (the class of continuous function as it was proposed in Aizerman hypothesis).

This strengthening of conditions seems not very restrictive but it is proved that wellknown Poincaré example and other examples rejecting Aizerman hypothesis do not contradict with results of this paper.

Remark

This work is supported by Russian Foundation of Fundamental Research (Project №95-0155a)



Жуков В. П. (Россия, Москва)

ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ И НЕКОТОРЫЕ ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Рассматриваются новые методы качественного исследования неавтономных нелинейных динамических систем произвольного порядка

$$\dot{x} = f(x, t), x \in R^n$$

и полученные на их основе результаты по исследованию устойчивости состояний равновесия для некоторых классов таких систем непосредственно по свойствам их правой части. Рассматриваются два метода: метод источников и метод дрейфа. В случае метода источников суждение о характере устойчивости точки равновесия делается по знаку  $\text{div} f(x, t)$  в некоторой окрестности этой точки. В случае метода дрейфа такое суждение делается по знаку некоторой компоненты вектора  $f(x, t)$ . Приводятся примеры применения полученных результатов.

Zemlyakov S.D., Rutkovsky V.Y. (Russia, Moscow)

THE SOLVING SOME TASKS OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS ADJUSTABLE WORKCAPACITY ON THE BASIS OF LYAPUNOV'S FUNCTIONS\*

It is considered the problem of adjustable work capacity of dynamic system (1) (2) which means automatic adjustment of DDS movement indexes during of work process. These indexes determine the workcapacity of NDS: if these indexes have the preassigned values the system would be capable to execute its functional destination. For many control and measuring problems the task of adjustable workcapacity amounts to the following statement: NDS is described by system:

$$dx/dt = F(t, x) + \Phi(t, k, x), \quad (1)$$

where  $t$  - time,  $x \in R^n$ ,  $k \in R^m$ ;  $F(t, x)$ ,  $\Phi(t, k, x)$  - vector-functions. If  $\Phi(t, k, x) = 0$  the movement  $x(t)$  of NDS satisfies to prescribed requirements. According to definition it is considered that NDS (1) keeps workcapacity with disturbance  $\Phi(t, k, x) \neq 0$  if aforementioned requirements are fulfilled with pre-set degree of accuracy. Components of vector  $\Phi(t, k, x)$  are not available to measuring but there is possibility to affect them with the help of purposeful changing of  $k$ 's vector components. There are two approaches for solving of adjustable workcapacity task which are considered in the report: 1) decreasing of adjustable disturbance  $\Phi(t, k, x)$  to admissible values; 2) control by disturbance  $\Phi(t, k, x)$  so that the task of NDS workcapacity will be solved even if  $\Phi(t, k, x)$  is not small.

In the report for special case of the NDS (1)

$$dx/dt = Ax + [D(t) + K(t, x)](x + \theta(t)), \quad (2)$$

where  $A$  - Hurwitz's constant matrix;  $D(t)$  - variable matrix with elements which are changed by unknown in advance laws;  $K(t, x)$  - adjustable matrix whose elements can be purposefully changed;  $\theta(t)$  - vector-function with measured components.

we formulate the definition of weak, soft, constructive and effective solving of adjustable workcapacity problem and for every of these cases we suggest the solution for  $K(t, x)$ . Relevant theorems were proved with the help of Lyapunov's function method.

\*This report was carried out with the financial support by RFFI (Project 95-01-01124).

Consider a system

$$\dot{x} = A(x)x + b(x)u; u = s^*(x), x \in R^n \quad (1)$$

where a totally controllable pair  $(A(x), b(x))$  is given.

We shall assume for the given pair  $(A(x), b(x))$  the continuous differentiability and the total controllability for  $x \in X \subset R^n$ , i.e. the nonsingularity of the matrix

$$G(x) = [b(x), L(x), \dots, L_{n-1}(x)b(x)] \quad (2)$$

Here  $L(x)$  is derivative in virtue of the open system (1).  $L_i(x)$  is defined by the operator

$$L(x) = L_1(x) = \left( A(x) + \frac{d}{dt} \right) x, \quad L_i(x) = L_{i-1} L(x), \text{ or by the corresponding matrix [1].}$$

Our goal is to determine vector  $s(x)$  which provides the exponential stability of the closed system (1).

**Theorem 1.** Assume the controllability matrix  $G(x)$  in (2) is nonsingular for  $x \in R^n$ ,  $g = \text{const}$  is an arbitrary vector for which the pair  $(A(x), G^{-1}(x)g)$  is totally observable.

Then the similarity transformation  $y = T(x, g)x$ ,  $T^*(x, g) = [t_1; t_2; \dots; t_n]$ ,  $t_i(x, g) = g^* G^{-1}(x) L_{i-1} x$  transfers the matrix  $A(x)$  into Frobenius matrix  $\tilde{A}(g, y)$ , the vector  $b(x)$  into  $g$ , an arbitrary vector  $s(x)$  into  $e_1 = (1, 0, \dots, 0)^*$ .

Note some properties of the specified similarity transformation:

1. The nonsingularity  $T(x, g)$  provides the total observability for the pair  $(A(x), G^{-1}(x)g)$ .

2. The definition of the system (1) for  $\|x\| \leq K$  provides the estimation of nonlinear line  $a_i^*(g, y)$  of matrix  $\tilde{A}(g, y)$ .

Considering a system similar to (1) by the transformation  $T(x, g)$  we shall select the vector  $g = \text{const}$ ,  $\|g\| = 1$  which provides its stability, and then we shall return to (1).

Consider the specified system

$$\dot{y} = A(y)y + r e_1^* y \quad (3)$$

where  $A(y)$  is Frobenius matrix,  $r = \text{const}$ .

Consider the positive definite matrix  $H_0 = PCP$ , where  $P = \text{diag} \{ \lambda_i \}$ ,  $\lambda_i > 0$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $C = \{ c_j \}$ ,  $c_j = 1$ ,  $c_{j-1} = c_{j+1} = -1/2$ ,  $c_j = 0$ ,  $j < i-1$ ,  $j > i+1$  and form

$$r = \lambda \cdot H_0^{-1} e_1 \quad (4)$$

**Theorem 2.** Assume that the system (3) is defined and  $\|x_i(y)\| \leq m$  for  $\|y\| < K$ . Then the achieved selection of integers  $\lambda_i$ ,  $\lambda_i > 0$ ,  $i = \overline{1, n}$  provides the exponential stability of the closed system (3.4) for  $\|y\| \leq \lambda \cdot \min(H_0) / \lambda \cdot \max(H_0) K$ .

Lyapunov function of closed system (3.4) is  $V(y) = y^* H_0 y$ .

Assume that  $g = [r]^T$  where  $r$  is determined by virtue of theorem 2 and form

$$s(x) = G^{-1}(x)g \quad (5)$$

**Theorem 3.** If the pair  $(A(x), G^{-1}(x)g)$  is totally observable for  $\|x\| < K$ , then the system (1.5) is exponentially stable for  $\|x\| < \lambda \cdot \min(H(x)) / \lambda \cdot \max(H(x)) K$ ,  $H(x, g) = T^{-1}(x, g) \cdot H_0 T^{-1}(x, g)$  and its Lyapunov function is  $V(x, g) = x^* H(x, g)x$ .

Similar results are obtained for a linear time-varying systems.

#### REFERENCES

1. Deza, F., Gauthier, J.P. A simple and robust nonlinear estimator. CDC Conference, Brighton, 1991.

This work is supported by Russia Foundation of Fundamental Research (project 99-00166).

Каневский А.Я. ( Латвия, Рига)

## СУЩЕСТВОВАНИЕ ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА-КРАСОВСКОГО В ОКРЕСТНОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО МНОЖЕСТВА.

На  $H$ -окрестности  $U(M, H) \times R$  множества  $M \times R$ , где  $M \subset R^n$  компактное множество,  $M = \bigcup_{k=1}^m M_k$ ,  $M_k \cap M_l = \emptyset$  для  $k \neq l$ , рассматривается дифференциальное уравнение  $\dot{x} = P(x, t)$ ,  $P \in C$ . Для непрерывной вне  $(M \cup \partial U(M, s)) \times R$  функции  $\psi: C(U(M, s) \times R) \rightarrow R^+$ ,  $s < H$  такой, что  $\psi|_{(M \cup \partial U(M, s)) \times R} = 0$  рассматривается класс  $\Pi(\psi)$  непрерывных функций  $y(\cdot): [\lambda, \infty) \rightarrow R^+$  с кусочно-непрерывной первой производной, обладающих свойствами: из  $y(t) \in M \cup \partial U(M, s)$  следует  $y(t) = y(t)$  для всех  $t \geq \lambda$ ;

$$\int_{\lambda, y} \psi(y(t), t) | \dot{y}(t) - P(y(t), t) | dt < 1.$$

Считается, что  $M_k \times R \rightarrow M_l \times R$  в  $C(U(M, s) \times R)$ , если для каждой функции  $\psi$  существует  $\tau > 0$ , такое, что для любого  $\rho < \tau$  найдутся функция  $y(\cdot) \in \Pi(\psi)$  и числа  $t_k < \theta < t_l$  для которых  $y(t_k) \in U(M_k, \rho)$ ,  $y(t_l) \in U(M_l, \rho)$ ,  $y(\theta) \in U(M_k \cup M_l, \rho)$ . Цепочка  $M_k \times R \rightarrow M_l \times R \rightarrow \dots \rightarrow M_k \times R$  называется циклом в  $C(U(M, s) \times R)$ .

**Теорема.** Если для каждого  $s < H$ : а) существует функция  $\psi$ , для которой при любых  $r, h < s$  найдется такое  $T > 0$ , что  $\mu \{ t \in R: y(t) \in C(U(M, h) \setminus U(M, r)) < T$  для всех  $y(\cdot) \in \Pi(\psi)$  (здесь  $\mu$  - мера Лебега); б) множества  $M_k \times R$ ,  $k = 1, 2, \dots, m$  не образуют циклы в  $C(U(M, s) \times R)$  - то для любого  $d < H$  существует ограниченная, непрерывная функция  $V: U(M, d) \times R \rightarrow R$ , со свойствами: функция  $V$  локально липшицева вне  $M \times R$ ;  $V|_{M_k \times R} = \text{const}$  для всех  $k = 1, 2, \dots, m$ ; производная  $\dot{V}$  в силу уравнения отрицательно определена относительно  $M \times R$ .

We consider dynamical systems with symmetry continuous and discrete groups. The existence of continuous groups permits to replace the problem of investigation of invariant sets of such systems by the analysis of the effective potential. The existence of discrete groups causes the specific properties of effective potential, and therefore, of invariant sets of such systems.

In particular, the systems under consideration always have the so-called trivial invariant sets which can be constructed without difficulties. If the instability degree of trivial invariant sets changes while the parameters of system change then the nontrivial invariant sets exist for such systems. In the general case constructing nontrivial invariant sets is sufficiently difficult problem. The existence of discrete symmetry groups makes possible to simplify the procedure of construction of these sets.

The general propositions are illustrated with an example in which steady motions in the central Newtonian field are investigated under condition that the exact expression of the gravitational potential is taken into account.

This research is sponsored by the Russian Foundation of Fundamental Investigations (93-013-16242), by the International Science Foundation (MAK-000) and by the International Science Foundation and Russian Government (MAK-300).

The results on the methods of construction and using of new class of vector Lyapunov functions (VLF) for investigation of stability, attractivity, boundedness and dissipativity of nonlinear control dynamical systems (it is possible infinite-dimensional) with parametric, persistent, impulse and other perturbations and uncertainties, and also with discontinuous transformations of structure, dimension of state vector (failures, reconstruction...) are presented.

VLF are selected with components as a norms of values for the linear mappings of the state with bounded operators having the restrictedly semireversible sum and containing well-known structure of sublinear functions and VLF of the type "root of square form" (D.Siljak, L.Grujic, G.Bitisoris, V.D.Furasov...), vector norms (P.Borne...) and others (for finite-dimensional case). New VLF are more effective with respect to the calculation of perturbations and in obtaining of constructive algorithms of analysis of studying properties (with quantitative estimations of stability, attractors, reachable domains...) and synthesis of robust controls with a warranted and suboptimal direct quality criteria. The applications to the precision systems of stabilization are given.

The report are prepared by the support of the Found of Fundamental Researches of Russia (94-OI-OI497).

#### References

1. The method of vector Lyapunov Functions in stability theory (Eds. A. A. Voronov, V. M. Matrosov). -Moscow: Nauka, 1987.
2. Kozlov R.I. Sublinear vector Lyapunov functions for differential equations in Banach spaces //Differential equations and control theory. -Longman scientific and technical, 1991.

#### СТАБИЛИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Рассмотрены нелинейные динамические системы переменной структуры. Построены матричные математические модели этих структур на основе симметризации уравнений движения и кинематических соотношений. Указанный подход использовался для построения имитационной системы для исследования динамики, динамического нагружения и аэроупругих колебаний неуправляемой метеорологической ракеты. Проведена серия вычислительных экспериментов для обоснования возможности компенсации ветровых возмущений перестройкой динамической структуры метеорологической ракеты в полете путем смены статически неустойчивого и устойчивого состояний, конструктивно реализуемой механизацией хвостового оперения, функционирующего в режиме флюгирования и фиксации. Обнаружено существование рациональных соотношений между величиной площади флюгирующей поверхности и моментом скачкообразного бокового отклонения от плоскости стрельбы. Важным элементом решения задачи является реализация статистических подходов. Процессы угловой стабилизации типичны для систем с переменной структурой, характеризующихся сменой неустойчивого цикла на начальном этапе полета устойчивым в конце активного участка.

Л. К. Кузьмина

Казанский авиационный институт

(Государственный Технический Университет им. А.Н. Туполева)

Казань, РАЗИИ

Работа посвящена разработке методов анализа в динамике сложных нелинейных систем, позволяющих подойти к решению проблем математического моделирования в механике. Используется обобщенный подход, основанный на математических методах теории устойчивости, позволяющий с единых позиций сингулярных возмущений рассматривать различные исходные системы, что дает возможность выработать эффективную технологию моделирования в динамике сложных систем с организацией схем декомпозиции исходной системы и ее динамических свойств. При этом исходная модель расчленяется на разномасштабные по времени части; естественным путем вводится иерархия упрощенных моделей ( $s$ -моделей); строится иерархическая последовательность расчетных моделей; определяются условия качественной эквивалентности и области приемлемости укороченных моделей более низкого порядка (с сохранением динамических характеристик). Разработаны систематические процедуры для построения строгим математическим путем моделей сравнения, допускающих оценки областей параметров системы, в которых справедлив принцип сведения. В приложении к динамике конкретных механических систем полученные результаты приводят к регулярным методам (с построением эффективных механико-математических укороченных моделей со строгим обоснованием их приемлемости в задачах анализа и синтеза, как в простых, так и в особенных случаях критических спектров).

## Extensions of Lyapunov's Method to Large Scale Impulsive Systems

Xinzhi Liu

Department of Applied Mathematics  
University of Waterloo  
Waterloo, Ontario, Canada, N2L 3G1

Stability criteria employing a combined estimate of continuous and discrete portions of an impulsive system are established. To show stability for an impulsive system it is not necessary to find a Lyapunov function whose derivative along the trajectories is negative definite, however, the function must not be allowed to grow too quickly. Herein we have defined and characterized the necessary growth condition on the Lyapunov function. These stability results are then extended to large scale impulsive systems. This extension, although analogous to extensions for purely discrete or purely continuous systems, is not straightforward due to the hybrid nature of the impulsive system, and provides some additional difficulties not associated with continuous or discrete systems. Examples are also worked through which show that an impulsive system may exhibit asymptotic stability behaviour even when both the corresponding continuous system and the discrete system are unstable.

Key Words: Impulsive systems, large scale, Lyapunov functions

1991 Mathematics Subject Classification: 34A37, 93D05, 93D30

<sup>0</sup>Research supported by NSERC Canada

## Об уравнениях динамики механических систем с трением скольжения

В.М.Матросов (Москва), И.А.Финогенко (Иркутск)

Исследуются уравнения движения механической системы с  $k$  степенями свободы, стесненной голономными (вообще говоря, нестационарными, удерживающими) идеальными связями с силами трения скольжения, добавляемыми к активным силам, которые, записанные в форме Лагранжа, представляют собой систему нелинейных, неразрешенных относительно старших производных дифференциальных уравнений с разрывными правыми частями (детальное описание см. в [1-3]).

Доказываются теоремы существования правосторонних решений уравнений, которые могут представлять собой не только теоретический интерес, поскольку условиями существования являются неравенства для коэффициентов трения и инерции, позволяющие избежать явлений типа парадоксов Пэнлеве и тем самым обосновать применимость законов Кулона для описания динамики механических систем с трением. Развивается общая теория уравнений: продолжимость, единственность правосторонних решений, их зависимость от начальных состояний и параметров, поведение вблизи точек относительного покоя и некоторые другие вопросы. Исследуется круг вопросов, связанных с устойчивостью положений равновесия, в том числе - всего множества положений равновесия (зоны "застоя").

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (93-013-16295)

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Матросов В.М.* О теории дифференциальных уравнений и неравенств с разрывными правыми частями // Годичник Высш. учебн. Завед. Приложен. мат., София. 1982. Т.17. N 4. С.6-35.
2. *Матросов В.М., Финогенко И.А.* О решениях дифференциальных уравнений динамики механических систем с трением скольжения // Доклады РАН. 1994. Т.336. N.1. С. 57-60.
3. *Матросов В.М., Финогенко И.А.* О разрешимости уравнений движения механических систем с трением скольжения. ПММ. 1994. Т.58. Вып.6. С.1-13.

Рассматриваются системы управления, описываемые семейством дискретных стохастических моделей

$$x_{n+1} = A(i_n)x_n + B(i_n)u_n + \sum_{l=1}^N \sigma_l A_l(i_n)x_n v_l(n), \quad u_n = \varphi(y_n), \quad y_n = -C(i_n)x_n, \quad (1)$$

где  $x_n$  -  $m$ -мерный вектор состояния;  $v_l(n)$  ( $l = 1, 2, \dots, N$ ) - компоненты вектора  $v(n)$  гауссовских дискретных белых шумов размерности  $N$  с единичной ковариационной матрицей;  $y_n$  -  $r$ -мерный вектор выхода;  $\varphi(y_n)$  -  $r$ -мерная нелинейная векторная функция, компоненты которой имеют вид

$$\varphi_l(y) = \varphi_l(y_l), \quad \varphi_l(0) = 0, \quad (l = 1, 2, \dots, r), \quad 0 \leq \varphi_l(y_l) y_l \leq k_l y_l^2 \quad (l = 1, 2, \dots, r); \quad (2)$$

$A(i)$ ,  $A_l(i)$  ( $l = 1, 2, \dots, N$ ) - матрицы размеров  $m \times m$ ;  $B(i_n)$ ,  $C(i_n)$  - матрицы размеров  $m \times r$  и  $r \times m$ ;  $\sigma_l(i)$  ( $l = 1, 2, \dots, N$ ) - положительные скаляры, характеризующие интенсивности компонент  $v_l$  ( $l = 1, 2, \dots, N$ );  $i_n$  - марковская цепь с дискретным множеством состояний  $m = \{1, 2, \dots, \nu\}$  и стохастической матрицей  $P = [P_{ij}]_{\nu}^{\nu}$ ,  $P_{ij} = P(i_{n+1} = j | i_n = i)$  ( $i, j \in m$ ).

Приводятся результаты исследования следующих задач

1. *Робастная абсолютная устойчивость.* Для системы (1), (2) найти условия экспоненциальной устойчивости в среднем квадратическом (ЗУСК) при произвольных интенсивностях  $\sigma_l$  ( $l = 1, \dots, N$ ) параметрических шумов и произвольных вероятностях перехода  $P_{ij}$  ( $i, j \in m$ ).

2. *Робастное стабилизирующее управление.* Найти управление с обратной связью

$$u_n = -K y_n,$$

которое обеспечивает ЗУСК системы (1) при произвольных интенсивностях  $\sigma_l$  ( $l = 1, \dots, N$ ) параметрических шумов и произвольных вероятностях перехода  $P_{ij}$  ( $i, j \in m$ ).

Даются примеры применения полученных результатов к техническим системам, в частности, к аэрокосмическим системам.

Объектом исследований в докладе являются нелинейные системы обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$\dot{x} = F(x, u, t), \quad x \in R^n, \quad u \in R^m, \quad t \in [0, \infty), \quad (1)$$

где  $x$  - вектор состояний,  $u$  - вектор управлений,  $t$  - время,  $F(x, u, t)$  - заданная вектор-функция размерности  $n$ .

Будем полагать, что с помощью функциональных матриц уравнение (1) допускает представление

$$\dot{x} = [P(x, t)]_{(1)} x + [B(x, t)]_{(1)} u, \quad (2)$$

где  $[P(x, t)]_{(1)}$ ,  $[B(x, u, t)]_{(1)}$  - функциональные матрицы с областью изменения, в роли которой выступают решения уравнения (1), и областью определения в виде любого правила выделения из вектора  $F(x, u, t)$  этих матриц, при котором имеет место равенство

$$F(x, u, t) = [P(x, t)]_{(1)} x + [B(x, t)]_{(1)} u.$$

Доклад посвящен разработке алгебры функциональных матриц.

С использованием аппарата функциональных матриц для нелинейных управляемых систем получен дифференциальный аналог тождества Гамильтона-Кэли-Крылова, позволяющий дать содержательное определение свойства управляемости. Введен в рассмотрение ранее неопределенный в литературе дифференциальный многочлен, являющийся аналогом характеристического многочлена, на основе которого в явном виде найдена связь блоков правого столбца матрицы Ляпуновского (названных коэффициентами А.Н.Крылова) с блоками нижней строки матрицы Фробениуса.

Результаты статьи иллюстрируются на примере решения задачи стабилизации пространственного движения гипотетического одномоторного самолета.

Пупков К. А. (МГТУ им. Н.Э.Баумана)  
Серов В. А. (РУДН)

В докладе развивается концепция интеллектуальных систем (ИС) применительно к проблеме синтеза робастных стратегий управления динамическими процессами со структурно-параметрическими трансформациями, сопровождающимися нарушением старых структурно-целевых взаимосвязей между подсистемами по вертикали и горизонтали, и возникновением новых.

Информационно-алгоритмическое обеспечение ИС включает: обобщенную динамическую экспертную систему, обобщенную динамическую базу знаний, подсистему логического анализа динамического и ситуационного состояния процесса и прогнозирования с целью обеспечения устойчивого и эффективного функционирования системы на основе синтеза оптимальных робастных стратегий управления. При этом под робастностью оптимальной стратегии управления понимается ее способность обеспечить функционирование системы с заданным уровнем эффективности на заданном классе структурно-целевых и параметрических ограничений модели исследуемой системы.

Структурно-параметрические трансформации формализуются в виде изменений коалиционных матриц интересов и действия, что приводит к выявлению в критериальном пространстве и пространстве управляющих параметров процесса блочных структур, являющихся основой для построения эффективных параллельных вычислительных алгоритмов. Предлагается принцип стабилизации эффективных решений. Последовательное, сверху вниз, применение данного принципа позволяет существенно расширить представления лица, принимающего решение, о структурных особенностях исследуемой системы, и сформировать оптимальные робастные стратегии управления, сочетающие в себе в той или иной степени свойства эффективности и стабильности на заданном классе структурно-параметрических ограничений моделей системы.

Салыга В.И., Зарипов М.Н. (Россия, Москва)

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ПРИБЛИЖЕННОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ МНОГОМЕРНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Одной из наиболее актуальных задач теории управления является задача построения оптимальной стратегии в условиях неопределенности; достаточно эффективным подходом является синтез адаптивного наблюдателя и исследование с его помощью экспериментального материала с одновременным синтезом оптимальной стратегии управления. Неизвестные параметры при этом должны входить линейно.

Авторами предлагается регулярный алгоритм построения преобразования, позволяющего для многомерной нелинейной нестационарной динамической системы точно или приближенно (в том числе при невозможности точного перехода) перейти от нелинейной зависимости от параметров к линейной, причем если существует точное преобразование, то оно полностью восстанавливается; при этом с помощью полученного приближенного линейризованного представления можно адекватно решать задачи параметрической идентификации и задачи оптимального управления для точного представления исследуемой нелинейной нестационарной динамической системы.

Для многомерной нелинейной динамической системы

$$\begin{cases} \dot{x}^i = f^i(x, t, u, p), \\ y^k = h^k(x, t), \end{cases}$$

где  $y \in \mathbb{R}^{n_y}$ ,  $p \in \mathbb{R}^{n_p}$ ,  $x \in \mathbb{R}^n$ ,  $u \in \mathbb{R}^{n_u}$ , предлагается алгоритм, позволяющий построить приближенное представление

$$\hat{f}^i(x, t, u, p) = \sum_{m=0}^N a^i_m(x, t, u) \varphi_m(t, u, p),$$

такое, что для заданного (при синтезе разложения) набора функций  $K_{i_s}$  будет выполняться

$$\begin{aligned} \forall s = 0 \dots N \quad \sum_{i=1}^n (f^i - \hat{f}^i, K_{i_s})_x &= 0 \\ \forall l, s = 0 \dots N \quad \left( f^l - \hat{f}^l, \sum_{m=1}^n (f^m, K_{m_s})_x \right)_p &= 0 \end{aligned}$$

где  $(\cdot, \cdot)_p$ ,  $(\cdot, \cdot)_x$  — скалярные произведения на пространствах функций от  $p$  и от  $x$  соответственно, причём используются наборы функций  $K_{i_s}(x, t, u, p)$  специального вида, позволяющего строить адекватные модели для задач идентификации и задач управления.

Серов В.А.

(Российский университет дружбы народов)

В докладе рассматривается методология системного моделирования иерархических многообъектных процессов управления в условиях динамической операционной среды. При этом под динамической операционной средой понимается возможность изменения структурно-целевой взаимосвязи подсистем, образующих исследуемый многообъектный процесс управления.

Основой предлагаемой методологии является разработка адаптивной системы математических моделей интегрированного планирования и управления, охватывающей широкий диапазон возможных структурно-целевых взаимосвязей подсистем (бескоалиционная, коалиционная, кооперативная) и соответствующих им принципов оптимальности (минимакс, равновесие по Нэшу, оптимальность по Парето, обобщенное равновесие). Адаптивная система моделей учитывает ряд существенных признаков, характеризующих многообъектные процессы управления в системном аспекте:

- многообъектность операционной среды;
- иерархичность задач управления и планирования;
- многокритериальность цели управления, естественным образом характеризующая эффективность функционирования многообъектной системы;
- динамический характер внутренней и внешней среды как источник неопределенности, дестабилизирующей процесс функционирования многообъектной системы.

Обеспечение свойства полноты адаптивной системы моделей потребовало дальнейшего развития теоретико-игрового подхода на класс иерархических игровых моделей с векторными целевыми функционалами коалиций. Обобщается принцип равновесия по Штакельбергу на случай векторных целевых функционалов подсистем верхнего и нижнего уровня. Формулируются необходимые условия векторного равновесия по Штакельбергу, являющиеся обобщением известных условий Да Канжи-Поллака-Джоффриона для решений, оптимальных по Парето. Предлагается алгоритм поиска равновесных по Штакельбергу координирующих управлений, наиболее устойчивых к воздействию дестабилизирующих факторов.

44

М. М. Хрусталева, И. Б. Азанов (Россия, Москва)

КВАЗИЛИНЕЙЧАТЫЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ ФУНКЦИИ БЕЛЛМАНА  
И СИНТЕЗ СУБОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ

Рассматривается задача оптимального управления системой, описываемой системой обыкновенных дифференциальных уравнений со свободным правым концом траектории и функционалом Больца  $J$ . Субоптимальные стратегии управления  $\hat{u}(t, x)$  синтезируются путем приближенного решения уравнения Беллмана. Здесь  $t$  - независимая переменная,  $x$  -  $n$ -мерный вектор состояния. Стратегия  $\hat{u}(t, x)$  строится для  $(t, x) \in \Pi$ , где  $\Pi$  -  $(n+1)$ -мерный параллелепипед. Предлагается аппроксимировать функцию Беллмана (цену) негладкими функциями  $g$  из класса  $G$  квазилинейчатых сплайнов [1]. При построении функций  $g$  параллелепипед  $\Pi$  равномерно разбивается на более мелкие параллелепипеды  $\Pi_k$ ,  $k \in K$ . Каждая функция  $g \in G$  состоит из суммы  $g = p + r$ , где  $p = p(t, x)$  - линейчатый сплайн, а  $r = r(t, x)$  - кусочно-квадратичная функция. Сплайн  $p$  является непрерывной, но необязательно гладкой функцией, сужение которой на каждое множество  $\Pi_k$  является  $(n+1)$ -линейной функцией. Составляющая  $r$  является непрерывной функцией, которая описывает поверхность, состоящую из одинаковых на каждом множестве  $\Pi_k$  фрагментов параболоида. Функция  $r$  содержит параметр  $L \geq 0$ , характеризующий высоту параболоидов и характер негладкости  $r$  в точках пересечения множеств  $\Pi_k$ .

Уравнение Беллмана решается при помощи процесса последовательных приближений  $\varphi_S(t, x)$  цены и приближений  $u_S(t, x)$  оптимальной стратегии управления. Если известно приближение  $\varphi_S$ , то  $u_S$  находится при помощи операции  $\arg \max$  (по управлению) в точках гладкости  $\varphi_S$  и так как указано в [2] - в точках негладкости. Если же известно приближение  $u_S$ , то эта стратегия управления подставляется в левую часть уравнения Беллмана. В результате образуется линейная краевая задача  $M$ , решением которой и является приближение  $\varphi_S$ . Для приближенного решения задачи  $M$  предлагается использовать функции  $g \in G$ . Вначале приближение  $\varphi_S$  вычисляется в точках  $(t_i, x_i)$ ,  $i \in I$ , являющихся угловыми точками параллелепипедов  $\Pi_k$ . Затем при помощи несложных формул [1] приближение  $\varphi_S$  восстанавливается на всем



множестве  $\Pi$  в виде функции  $g \in G$ . Приближение  $\rho_S$  в каждой точке  $(t_1, x_1)$  вычисляется при помощи расчета из этой точки траектории  $\xi_1(t)$ , которая получается в результате подстановки стратегии  $u_S$  в уравнение управления объектом. Функционал  $J$  на траектории  $\xi_1$  по смыслу предлагаемого метода и является значением  $\rho_S(t_1, x_1)$ . В результате итерационного процесса вычисляется негладкое приближенное решение  $\tilde{\rho}(t, x)$  уравнения Беллмана.

Показано, что для корректного построения синтеза субоптимальных стратегий управления  $\tilde{u}(t, x)$  и оценки отклонения приближенного решения от точного квазилинейчатые сплайны  $\rho_S$ ,  $\tilde{\rho}$  должны быть сплайнами полуограниченной кривизны [3]. Оказалось, что это ограничение можно учесть при помощи параметра  $L$ , который ввиду применяемого способа аппроксимации вычисляется при помощи несложной формулы [1], содержащей значения  $\rho_S$ ,  $\tilde{\rho}$  в точках  $(t_1, x_1)$ .

Численное решение различных задач оптимального управления продемонстрировало работоспособность предложенного метода и показало, что он является более точным, чем методы, в которых цена аппроксимируется при помощи классических гладких приближений: полиномов, тригонометрических функций, рациональных дробей и др. Предложенный метод эффективен и при решении задач оптимального управления сложной структуры, имеющих, например, негладкую цену, многочисленные разрывы оптимального управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Азанов И. Б. Квазилинейчатые сплайны полуограниченной кривизны / МАИ. - М., 1993, деп. в ВИНИТИ от 19.03.1993, N 656-В93, 48 с.
2. Хрусталева М. М. Точное описание множеств достижимости и условия глобальной оптимальности динамических систем // Автоматика и телемеханика, II, 1988, N 7, с. 70-80.
3. Хрусталева М. М. Аппроксимация решения уравнения Беллмана сплайнами полуограниченной кривизны // Динамика нелинейных процессов управления / Тезисы докл. Всесоюз. семинара. Таллин, сентябрь 1987, с. 77-78.

Алексеев Ф.Ф. (Россия, Казань)

#### АНАЛИЗ ЖИВУЧЕСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПЕРЕХОДНЫЕ ПЕРИОДЫ РАЗВИТИЯ \*

Социально-экономическая система (СЭО) анализируется с учетом переходных режимов функционирования. Живучесть и стабильность СЭО обеспечивается благодаря перенастройке общественно-экономического организма. Под живучестью здесь понимается сохранение динамического свойства развития при потрясениях и катастрофах. СЭО имеет ключевые стратегии подсистем (при этом имеются общие элементы), комплексное управление. Обеспечивается совместимость подсистем. Применяется логическая система управления (СУ) комбинированного характера (основанная на различных видах логики), позволяющая реализовать естественный порядок действий, а также сохранять работоспособность системы при потрясениях и катастрофах в обществе.

СЭО моделируется в общем случае комбинированной системой (КС), состоящей из дифференциальных уравнений (Т.К.Сиразетдинов, С.В.Завалишин), вычислительного процесса (Л.Ю.Анапольский), логических уравнений в многозначной логике, системы рекуррентных уравнений, взаимодействующих между собой. Для КС вводится глобальное комбинированное динамическое свойство развития, характеризующее цель функционирования системы. Глобальное свойство составляется из подсвойств первого уровня, характеризующих цели функционирования подсистем, в свою очередь состоящие из подсвойств следующих уровней.

Для обеспечения живучести и стабильности СЭО предлагаются структуры соединения подсистем, основой для этих структур является обобщенный сбалансированный гиперкуб. Основой анализа

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 93-011-16112) и РИНФ (проект 95-06-17243).

за СЭО является логико-системное моделирование и метод функций Ляпунова. С помощью логических соотношений описывается конкуренция между подсистемами, коалиции и др. взаимоотношения. Изучаются противоречия и конфликты, возникающие при сосуществовании подсистем (в экономике, национальных отношениях, сосуществовании языков). Рассматриваются подходы, устраняющие ситуацию неполноты. Для самодостаточности СЭО необходимо и достаточно наличие свойства живучести.

INVESTIGATION OF STABILITY  
OF ARTERIAL PULSE WAVE PROPAGATION

Marziano B. L. Dozio<sup>1</sup> and Mikhail M. Khrustalev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Applied Mathematics, University of Pisa, Via Bonanno, 258, I-56126 Pisa, Italy. International Laboratory "Stability, Control and Intellect" of IFMA, P.O. Box 11, Moscow 117049, Russia  
<sup>2</sup>Moscow Branch of the Institute of Transport Problems, Russian Academy of Sciences, P.O. Box 11, Moscow 117049, Russia

ABSTRACT

Pulse curve parameters have been proven as very helpful tool for the assessment of obstructive arterial diseases by ultrasonic Doppler measurements. By means of a biophysical model of the pulse wave propagation in arterial vessels, the influence of haemodynamic changes on the behaviour of ultrasonic Doppler pulse curve parameters may be examined. Starting point of the investigations does consist in a system of elements of an electrical transmission line - by making use of the electrical analogies - as approximation of the arterial blood vessels from the aortic arch to the legs.

We investigate the stability of the arterial pulse wave propagation by using the Lyapunov functional method, in the case of constant biophysical parameters and stationary uniform circular cross-section, i.e., stationary uniform transmission line.

Л. И. Дубовский, ИСА РАН

Исследуются причины ухода российской экономики из окрестности равновесия и возможности её возвращения в эту окрестность. Предлагается системная диаграмма и следующая информация основных процессов.

Известное уравнение Фишера для денежной массы и индекса цен:

$$(1) \quad Mv = PY,$$

где  $M$ -денежная масса,  $v$ -скорость обращения денег,  $P$ -индекс цен,  $Y$ -ВВП

Уравнение денежной эмиссии:

$$(2) \quad M' = (n+m-s)PY,$$

где штрих' означает производную по времени;  $n, m, s$ -бюджетный дефицит, кредиты производству, зарубежные займы в долях ВВП

Уравнение ВВП, удовлетворяющего спросовым ограничениям:

$$(3) \quad Y' / Y = a(K' / K - P' / P) + br' / r + cEx' / Ex,$$

где  $a, b, c$ -эластичности;  $r$ -объемные ставки процента,  $K$ -оборотные средства,  $r$ -доля потребления населения и государства,  $Ex$ -экспорт.

Уравнение динамики оборотных средств:

$$(4) \quad K' = rPY,$$

Уравнение динамики производственных фондов:

$$(5) \quad F' = I - qF,$$

где  $F$ -фонды,  $I$ -инвестиции,  $q$ -коэффициент выбытия фондов.

Уравнение инвестиционного спроса:

$$(6) \quad I = \max(gY - gF, 0),$$

где  $g, g$ -коэффициенты.

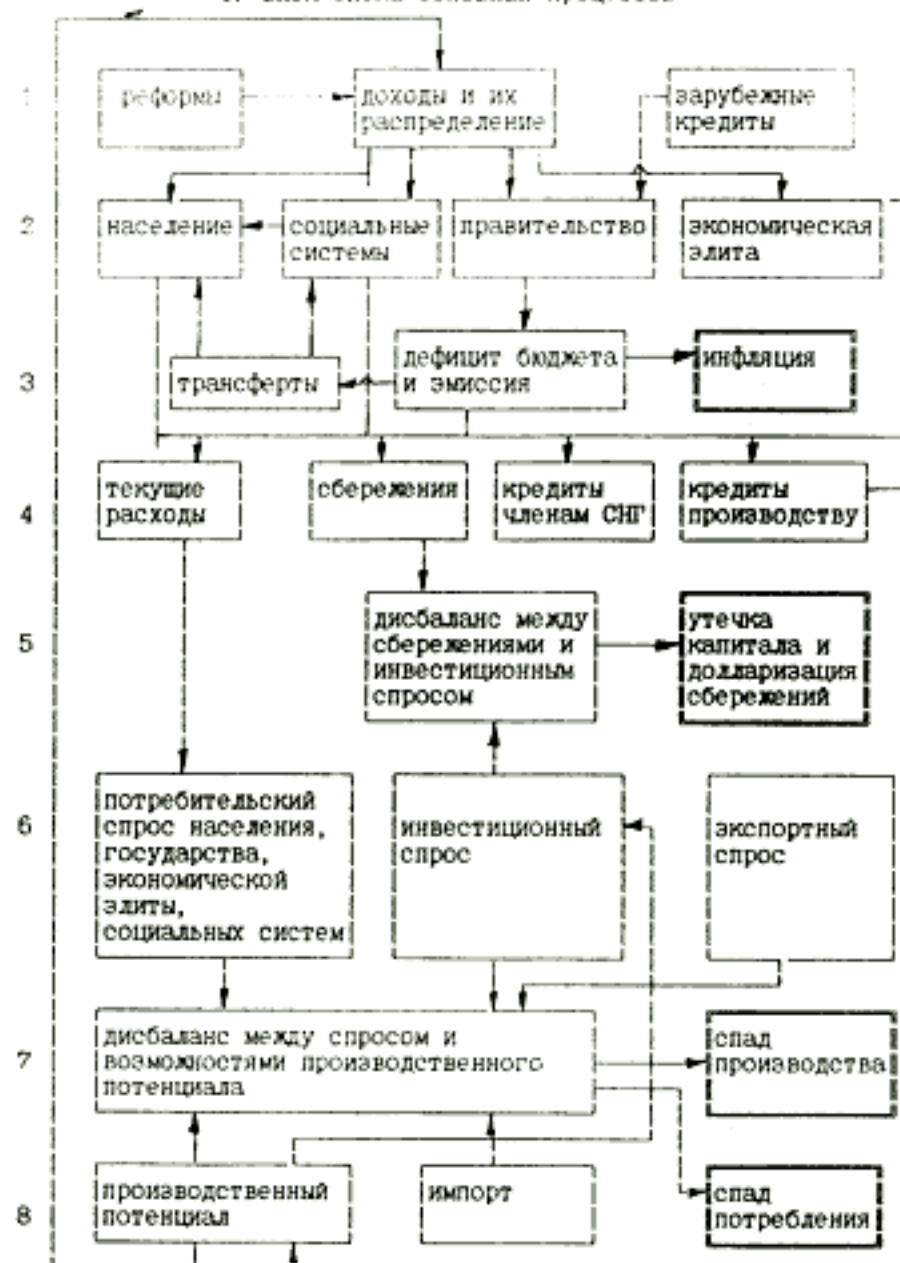
Уравнение для определения внешнеторгового сальдо  $T$ :

$$(7) \quad T = (1 - \alpha) - 1.$$

Система (1)-(7) позволяет определить семь фазовых переменных ( $M, P, Y, K, F, I, T$ ), если заданы управляющие функции и оценены параметры.

На макромоделли имитируется реальный режим 1992-95г.г. и исследуются возможные режимы управления. Предложены мероприятия по ликвидации основных дисбалансов (расходы и доходы правительства, сбережения и инвестиционный спрос, платежеспособный спрос и возможности производства) и переходу в окрестности равновесия.

1. Блок-схема основных процессов



Сложные системы отличаются многорежимностью, многофункциональностью, они могут выполнять некоторые задачи своими частями [1]. Множество всех возможностей системы по выполнению различных функций и задач назовем мощностью системы. Таким образом, мощность определяется как некоторое множество в функциональном пространстве, определяющем функционирование системы.

Мощность системы не зависит от конкретной реализации функционирования системы, а определяется уровнем развития системы, ее структурой. Под трансформирующейся системой здесь понимается система, плавно изменяющая свою структуру. Трансформирование системы вызывает изменение ее мощности, которая математически описывается как эволюция некоторого множества.

Трансформирование системы может быть спонтанным, вызванным какими-то внутренними факторами, а может зависеть от внешних факторов. Последнее дает возможность управления, т.е. целенаправленного воздействия на развитие системы с целью добиться расположения множества мощности в требуемой области. Внутренние же факторы определяют динамику развития системы.

В [2] предложена математическая модель развития мощности системы однотипных объектов. В докладе эта модель распространена на системы, состоящие из конечного числа типов элементов. Изменение количества элементов какого-либо типа трансформирует систему, изменяет ее мощность. Предложена математическая модель развития трансформирующихся экономических систем, в которой развитие подсистем происходит, с одной стороны, за счет капитальных вложений, а с другой стороны, за счет выбытия их элементов ввиду износа в процессе эксплуатации.

#### Литература.

1. Сиразетдинов Т.К. Сложные системы и задача аналитического проектирования. I. //Изв.вузов. Авиационная техника, 1980. № 4. С.32-38.

2. Сиразетдинов Р.Т. Математическое моделирование развития системы однотипных объектов с учетом интенсивности их эксплуатации (На примере самолето-вертолетного парка).//Изв. вузов. Авиационная техника, 1994, № 1, С.63-68.

В докладе представлена математическая модель динамического развития цен на рынке товаров и услуг во времени, основанная на учете характеров взаимодействия основных участников торговли – продавцов и покупателей –, а также на учете эффектов вмешательства внешних структур /государства, теневых группировок и т.п./. В отличие от известных моделей Вальраса-Леонтьева – Неймана не используются соотношения типа "затраты-выпуск", тесно связанных с производством и соответствующими условиями баланса. Предлагаемая модель касается только акта торговли и общественных отношений между группами ее участников, порожденных преследуемыми целями людей. В основу построения модели экономической системы отчасти положен метод динамических аналогий. В определенной степени проводится параллель со вторым законом Ньютона применительно к специально выбранной мере движения. В качестве такой меры выступает основное понятие рыночных отношений – цена единицы товара. Результат моделирования представлен в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений, удовлетворяющих ряду заданных предположений – гипотез относительно экономических взаимоотношений партнеров по рынку. Сюда относятся следующие допущения:

- в каждый момент времени рынок обладает равновесием;
- на каждый товар "действуют" силы, присущие всем участникам рынка, с целью изменения его вектора цен в ту или иную сторону /желание продавцов повысить цену, влияние конкурентов, воздействие покупателей, эффект вмешательства внешних структур и др./;
- имеет место принцип независимости действия сил для каждого товара, представленного на рынке;
- выполняется следующий закон: скорость изменения цены на каждый товар равна взвешенной сумме всех действующих сил на этот товар.

В заключении приведены результаты исследования устойчивости равновесия модели рынка взаимозаменяемых товаров. Анализ полученных условий устойчивости позволяет указать причины дестабилизации рыночных цен макроэкономики.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНА

Моделирование процессов развития экономики на региональном уровне является крупномасштабной, многорежимной и многоуровневой задачей, имеющей математический, информационный и организационно-экономический аспекты. В данной работе эти аспекты и являются предметом исследования.

Вводится понятие экономического объекта (ЭО), дается унифицированная структура ЭО. Любой ЭО рассматривается с трех позиций: потенциал ЭО, функционирование ЭО, реализованные возможности ЭО. Такой подход дает возможность оценить деятельность организаций различного типа и состава: производственных, научно-исследовательских, финансовых и административных.

Задача моделирования и управления развитием экономики региона разбивается на три этапа, каждый из которых имеет собственное информационное обеспечение.

На первом этапе предполагается работа с наиболее общей информацией о продукции, выпускаемой и потребляемой предприятиями региона. Здесь дается заключение о принципиальной возможности по выпуску того или иного продукта на том или ином предприятии и степени автономности промышленного региона по потребным видам сырья, материалов и комплектующих изделий.

Второй этап предполагает более детализированное рассмотрение видов производств, состава оборудования и характеристик планируемой к выпуску продукции. Этот этап позволяет определить возможность выпуска заданных видов продукции и размещения производства продукции требуемого вида в регионе.

На третьем этапе предполагается сбор более подробной информации о технологических возможностях отдельных предприятий и отраслей региона, и на основе этой информации оценка объема выпуска продукции за заданное время, потребной численности персонала, капитальных вложений, необходимых для обеспечения программы выпуска продукции, и ряд других агрегированных экономических показателей.

Акуленко А.А. (Россия, Москва), Лосенко А.А. (Москва, Одесса)

ОПТИМАЛЬНОЕ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ ТОРМОЖЕНИЕ ВРАЩЕНИЙ СВОБОДНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА С ВНУТРЕННИМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Исследуется задача об оптимальном по быстрдействию торможении вращений свободного твердого тела, несущего элементы с распределенными и сосредоточенными параметрами. Предполагается, что тело содержит сферическую полость, заполненную жидкостью большой вязкости (при малых числах Рейнольдса), и подвижную точечную массу, соединенную с телом посредством упругой связи с вязким или квадратичным трением. Считается, что в недеформированном состоянии тело динамически симметрично, а масса лежит на оси симметрии.

Управление вращениями производится с помощью момента сил ограниченного по модулю; он может быть реализован посредством верньерных реактивных двигателей. Асимптотическими методами нелинейной механики построена математическая модель управляемых движений гибридной системы в квазистатическом приближении. Определен оптимальный закон управления для торможения вращений несущего твердого тела в форме синтеза. Установлено, что модуль кинетического момента в соответствии с этим законом в обеих задачах убывает до нуля за конечное время. Численным интегрированием уравнения для угла нутации показано, что вектор кинетического момента в связанной с недеформированным телом системе координат стремится к оси наибольшего момента инерции.

Эта работа была частично поддержана Международной Соросовской программой поддержки образования в области точных наук (ISSEP), грант № APU051058.

Алексов В.З. (Россия, Санкт-Петербург)

Свойства волн в плазме и в вакууме

Рассматриваются свойства волн в плазме и в вакууме, в частности, распространение волн в среде с нелинейными свойствами подвижными объектами.

Рассматривается электропроводная среда, движущаяся с некоторой скоростью относительно системы отсчета гидро и электродинамики. Для волн достаточно низкой частоты можно ограничиться системой квазистационарных уравнений магнитной гидродинамики. Общий метод их исследования – постановка задачи Коши и ее решение методом характеристик. Приводятся случаи точного решения в случае несжимаемой плазмы. Для сжимаемой плазмы задача решается в линейном варианте. Проводится исследование простых волн.

В случае звуковых волн, характеризующихся слабой дисперсией, строятся упрощенные уравнения, например, уравнение типа Бургера. При рассмотрении потенциального движения в слое тяжелой жидкости задача сводится к построению решения уравнения Лапласа при нелинейных условиях на свободной поверхности. А.И.Некрасов свел задачу к интегральному уравнению. В случае длинных волн построена полная модель, состоящая из уравнений типа Буссинеска. Для общего случая задачи о распространении волн и их взаимодействия с преградами задача сведена к системе интегральных уравнений по граничным многообразиям, что позволяет строить экономичные приближенные методы.

56

Гаскаров Д.В. (Россия, г. Санкт-Петербург)

Истокин Е.П. (Россия, г. Санкт-Петербург)

ОЦЕНИВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ  
В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ.

Устойчивое развитие и оптимальное функционирование транспортных систем (ТС) зависит от множества факторов, которые можно подразделить на внутренние и внешние. Влияние этих факторов создает нестационарность "в большом" и "в малом" в эволюции ТС. ТС существует в проблемно-ориентированном транспортном пространстве, у которого следует выделить такие стороны его предметного содержания, как структурное, функциональное, информационное и техническое. Влияние транспортного пространства на ТС создает нестационарность в ее эволюции "в большом", причем эта нестационарность может выражаться в "постепенных" и во "внезапных" изменениях эволюции. В общем случае структура транспортной системы как основная конфигурация транспортного пространства содержит: множество транспортных объектов (ТО), множество транспортных узлов, транспортный путь, транспортную нагрузку, автоматизированный комплекс управления транспортным процессом. Эти составные части ТС создают нестационарность "в малом" ее эволюции во времени.

Функциональное и техническое содержание предметной области ТС зависит от конкретного вида ТО. Структура многих транспортных систем идентична, и у каждой структурной единицы (СЕ) существует своя информационная оболочка (ИО), которая позволяет формировать базу данных каждой СЕ, служащую основой принятия решений управляющим комплексом. Предметная область транспортного пространства есть материальная среда физических транспортных объектов и процессов, при этом единство материальной и информационной сред – необходимое условие функционирования ТС. Развитость ИО ТС является условием ее адаптируемости к упомянутым возмущениям.

ИО ТС представляет собой интегрированную информационную систему, имеющую интеллектуальную поддержку для оценки эволюции ТС в виде развитого математического обеспечения.

Интеллектуализированность информационной среды ТС позволяет оценить ее приспособленность к постепенным и внезапным изменениям эволюции, к нестационарности "в большом" и "в малом".

57

Александр В.С. (Россия, Санкт-Петербург)

#### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАГРУЗКА ВОЛНОВЫХ СИСТЕМ

Вопросы распространения волн в среде и их взаимодействия с подвижными объектами.

Рассматривается электропроводная плазма, движение которой описывается системой уравнений гидро и электродинамики. Для волн достаточно низкой частоты можно ограничиться системой двумерных уравнений магнитной гидродинамики. Общий метод их исследования – постановка задачи Коши и ее решение методом характеристик. Приводятся случаи точного решения в случае несжимаемой плазмы. Для сжимаемой плазмы задача решается в линейном варианте. Проводится исследование простых волн.

В случае звуковых волн, характеризующихся слабой дисперсией, строятся упрощенные уравнения, например, уравнение типа Бургера. При рассмотрении потенциального движения в слое тяжелой жидкости задача сводится к построению решения уравнения Лапласа при нелинейных условиях на свободной поверхности. А.И.Некрасов свел задачу к интегральному уравнению. В случае длинных волн построена полная модель, состоящая из уравнений типа Буссинеска. Для общего случая задачи о распространении волн и их взаимодействия с преградами задача сведена к системе интегральных уравнений по граничным многообразиям, что позволяет строить экономичные приближенные методы.

Гаскаров Д.В. (Россия, г. Санкт-Петербург)

Истомин Е.П. (Россия, г. Санкт-Петербург)

#### ОЦЕНКА ЭВОЛЮЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ.

Устойчивое развитие и оптимальное функционирование транспортных систем (ТС) зависит от множества факторов, которые можно подразделить на внутренние и внешние. Влияние этих факторов создает нестационарность "в большом" и "в малом" в эволюции ТС. ТС существует в проблемно-ориентированном транспортном пространстве, у которого следует выделить такие стороны его предметного содержания, как структурное, функциональное, информационное и техническое. Влияние транспортного пространства на ТС создает нестационарность в ее эволюции "в большом", причем эта нестационарность может выражаться в "постепенных" и во "внезапных" изменениях эволюции. В общем случае структура транспортной системы как основная конфигурация транспортного пространства содержит: множество транспортных объектов (ТО), множество транспортных узлов, транспортный путь, транспортную нагрузку, автоматизированный комплекс управления транспортным процессом. Эти составные части ТС создают нестационарность "в малом" ее эволюции во времени.

Функциональное и техническое содержание предметной области ТС зависит от конкретного вида ТО. Структура многих транспортных систем идентична, и у каждой структурной единицы (СЕ) существует своя информационная оболочка (ИО), которая позволяет формировать базу данных каждой СЕ, служащую основой принятия решений управляющим комплексом. Предметная область транспортного пространства есть материальная среда физических транспортных объектов и процессов, при этом единство материальной и информационной сред – необходимое условие функционирования ТС. Развитость ИО ТС является условием ее адаптируемости к упомянутым возмущениям.

ИО ТС представляет собой интегрированную информационную систему, имеющую интеллектуальную поддержку для оценки эволюции ТС в виде развитого математического обеспечения.

Интеллектуализированность информационной среды ТС позволяет оценить ее приспособленность к постепенным и внезапным изменениям эволюции, к нестационарности "в большом" и "в малом".

# УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ ОРБИТАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ВО ВЗАИМОСВЯЗИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Казаров Ю. К.

Московский филиал Института проблем транспорта РАН

Сформулирован и теоретически объяснен единый принцип механического движения и транспорта электромагнитной энергии в силовом поле солнечной системы, основу которого составляет динамическое равновесие с бозе-газом. Принцип позволяет, в частности, сформулировать строгую постановку давно поставленной, но не решенной задачи о движении трех и большего числа тел. Поэтому при исследовании движений тел солнечной системы и в космонавтике используют различные приближенные методы.

Условием устойчивого синхронного движения любых двух орбитальных объектов, входящих в сложную систему из трех и большего числа объектов естественного или искусственного происхождения, является пропорциональность угловой скорости кубу линейной орбитальной скорости этого объекта. При этом, коэффициент пропорциональности является сложной функцией фундаментальных констант: центрической гравитационной постоянной, постоянной Стефана-Больцмана, а также мощности электромагнитного излучения, равновесной температуры и величины поверхности сферы-источника электромагнитного излучения.

Показано, что в задачах о синхронизации орбитального движения объектов существует своеобразный аналог потенциальной энергии (потенциальной функции) и точкам их минимума по относительным фазам вращения объектов соответствует устойчивое синхронное движение.

На основе разработанной методологии приводится пример решения в строгой постановке задачи "трех тел" сложной системы Земля-Луна-орбитальный корабль "Челленджер" /США, полет 30 января 1984 г. / . Пример с большой точностью иллюстрирует режим синхронного движения орбитальных объектов естественного и искусственного происхождения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Казаров Ю. К. Электродинамика Солнечной системы // Транспорт, Наука, Техника, Управление, №8. 1993. ВИНТИ РАН.

# КОНЦЕПЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МНОГОРАЗОВОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

В. Л. Катаев

Московский филиал ИПТ РАН

Космическая деятельность в мире постоянно расширяется, в ней от уже около 130 стран. Растет мировой рынок транспортных его многомиллиардным фрахтом. Можно ожидать, что основные в сфере влияния в космосе окажутся у тех, кто будет способен обеспечить удобный, дешевый, экологически чистый действующий лифт "Земля-орбита-Земля".

пока эта задача не решена даже концептуально.

известные европейские и российские проекты перспективных транспортных систем морально устарели и находятся в идеологическом Требуется их полная переоценка.

многоразовые ракеты-носители являются временной альтернативой. новой данной конструкции воздушно-космической системы (ВКС) орбита-Земля" является схема "тандем" из двух пилотируемых самолетного типа с использованием в конструкции однотипных блоков. старт ВКС в сборе вертикальный-ракетный, по каждой ступени горизонтальная - самолетная на обычный аэродинамического класса, с возможностью больших сдвигов по курсу, ти, а также самостоятельных перелетов в атмосфере.

модульные блоки позволяют вести автономную стендовую, летную и виды отработки.

оптимизация системы проведена по удобству эксплуатации, что дополнительных энергетических затрат, поэтому топливная брана наиболее дешевая и экологически чистая: кислородсжиженный природный газ, захоложенный до уровня жидкого кислорода и водорода в 400-500 раз).

С адаптивен к полезной нагрузке (для круговой орбиты 200 км - 30 т. Стартовый вес ВКС - 2000 тонн. Посадочный вес ступени 120-150 тонн. Безопасность (спасение при аварии) экипажа обеспечивается на всех этапах присутствия его на борту, включая выходы в космос.

рассмотрено андрогенное устройство для стыковки в космосе. реальная стоимость вывода полезной нагрузки \$ 100-300/кг. стоимость создания \$ 7 млрд за 5 лет.

организационная схема работ: международный консорциум на базе лучших научно-технических и технологических возможностей стран.





Стабилизация движения нелинейной системы переменной структуры

Система представляется в виде графа, узлы имеют емкость  $d_{ij}(t)$ , дуги - пропускную способность  $d_{ij}(t)$ . Между дугами, а также дугами и узлами имеются связи адаптации, по которым пе-

ребрасывается пропускная способность (емкость)  $d_{ij}(t)$ . На множестве узлов заданы функции производства и потребления  $q_i(t)$ . За счет связей адаптации структура системы подстраивается к потокам. Содержательно связи адаптации могут отображать как структурные, так и функциональные изменения (например, перераспределение производительности двух сортировочных станций вследствие изменения плана формирования).

Задача ставится как пропуск потоков  $u_{ij}(t)$  с минимальной перестройкой структуры

$$I = \sum_{i,j} c_{ij}(t) u_{ij}(t) + \sum_{i,j} c_{ij}(t) d_{ij}(t) \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$u_{ij}(t+1) = u_{ij}(t) + q_i(t) + \sum_{k \neq j} (u_{kj}(t-t_{kj}) - u_{ij}(t)),$$

$$d_{ij}(t+1) = d_{ij}(t) + \sum_{k \neq i, j} (\beta_{ki} d_{ki}(t-t_{ki}) - d_{ij}(t)),$$

$$0 < u_{ij}(t) < d_{ij}(t);$$

$\beta_{ki}$  - передаточный коэффициент.

Для решения задача сводится к умножению во времени к общей задаче линейного программирования.

Метод может использоваться для построения гибкой технологии в крупномасштабных транспортных системах для повышения их устойчивости, а также совершенствования структуры при смене схемы потоков.

Рассмотрены нелинейные динамические системы переменной структуры. Построены матричные математические модели этих структур на основе симметризации уравнений движения и кинематических соотношений. Указанный подход использовался для построения имитационной системы для исследования динамики, динамического нагружения и аэроупругих колебаний неуправляемой метеорологической ракеты. Проведена серия вычислительных экспериментов для обоснования возможности компенсации ветровых возмущений перестройкой динамической структуры метеорологической ракеты в полете путем смены статически неустойчивого и устойчивого состояний, конструктивно реализуемой механизацией хвостового оперения, функционирующего в режиме флюгирования и фиксации. Обнаружено существование рациональных соотношений между величиной площади флюгирующей поверхности и моментом скачкообразного бокового отклонения от плоскости стрельбы. Важным элементом решения задачи является реализация статистических подходов. Процессы угловой стабилизации типичны для систем с переменной структурой, характеризующихся сменой неустойчивого цикла на начальном этапе полета устойчивым в конце активного участка.

Курбатов М.А. (Россия, Москва)

### КОНЦЕПЦИИ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ТРАНСПОРТА РОССИИ В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ

Научно-технический прогресс в области информатики и безбумажной информационной технологии в мире происходит в период становления государственности и экономического спада и дезинтеграционных процессов в странах СНГ, включая РФ. В этих условиях переход РФ к рыночной экономике и вхождение в интегрированную мировую экономику ставит перед всеми видами отечественного транспорта принципиально новые и сложные задачи, что следует из исследования международных интермодальных перевозок грузов.

Любая торгово-транспортная операция сопровождается информацией между ее участниками, последовательность действий которых определяется функциями документации в 2-х вариантах доставки грузов: "порт - порт" и интермодальная перевозка "от двери до двери". Это подтверждают схемы потоков информации в виде традиционной бумажной документации и безбумажной - ЭДИ/ЭДИФАКТ.

В России и других странах СНГ начато развитие рынка услуг по ЭДИ по схеме "продавец - покупатель". Особое значение представляют способы обеспечения пользователей базой данных стандарта ЭДИФАКТ ООН через ИСС (информационно-справочные системы).

В международной практике широко применяется общий подход внедрения систем ЭДИ/ЭДИФАКТ для любого (по профилю деятельности и размеру) предприятия на основании МОДЕЛИ развития ЭДИ. Базой концепции являются 3 фактора и 10 этапов развития.

В морских портах стран Западной Европы - транспортных узлах Континента - созданы и функционируют Портовые Системы ЭДИ (ПСЭДИ), которые связывают электронной технологией всех участников торгово-транспортной операции и особенно в грузо-обороте портов. Это наглядно иллюстрируется на примере бельгийского морского порта Антверпена, где используются локальные сообщения ПСЭДИ, разработанные как варианты стандартных ЭДИФАКТ, и могут применяться 22 международных (транспортных) сообщения ЭДИФАКТ ООН.

### ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ВОЗРОЖДЕНИЯ ТОРГОВОГО ФЛОТА РОССИИ

В последние годы работа и развитие морского транспорта происходят в условиях, определяемых тремя основными факторами:

- разделом отрасли между бывшими союзными республиками, что привело к потере Россией половины производственных мощностей флота, портов и промышленных предприятий;

- резким снижением объемов централизованных инвестиций, результатом чего явилось старение флота и сокращение его тоннажа, сверхнормативный износ гидротехнических сооружений, подъемно-транспортного и технологического оборудования в портах и на судоремонтных заводах;

- проходящими в отрасли реформами в области управления и экономики, в частности, изменением форм собственности в ходе приватизации, становлением и развитием рыночных отношений, перестройкой организационных структур.

Основным документом, определяющим развитие морского транспорта в этих сложных условиях, является Программа возрождения торгового флота России, разработанная во исполнение Указа Президента Российской Федерации от 3 декабря 1992 г. N 1513 и утвержденная Постановлением Правительства от 8 октября 1993 г. N 996.

Целью Программы является воссоздание целостной, высокоэффективной системы морского транспорта, обеспечивающей потребности страны в каботажных и внешнеторговых перевозках.

Для достижения этой цели предстоит решить следующие основные задачи:

- воссоздать изношенную материально-техническую базу отрасли с учетом лучших мировых стандартов, одновременно приведя ее структуру в соответствие со структурой грузопотоков;

- довести до логического конца проводимые в отрасли реформы;

- значительно улучшить организацию работы морского транспорта, несколько снизившуюся в силу объективных причин, обусловленных особенностями переходного периода;

- обеспечить надежную правовую защиту российского торгового флота на международном рынке;

- обеспечить социальную защищенность работников отрасли в условиях инфляции, акционирования предприятий, возможного их банкротства.

Решение указанных задач гарантирует устойчивое функционирование, целенаправленное развитие и надежную управляемость такой крупномасштабной системы как морской транспорт.

Вместе с тем, это создаст хорошие предпосылки для организации тесного взаимодействия смежных видов транспорта и грузопользователей в рамках логистических товаропроводящих систем, осуществляющих перевозки по схеме "от двери до двери" под управлением единого оператора смешанных перевозок. Подобные схемы, получившие за рубежом название "интермодальных", "мульти-модальных" перевозок, обеспечивают наибольшую эффективность перевозочного процесса и высокое качество транспортных услуг.

Первые два года работы по Программе вскрыли ряд серьезных проблем, лежащих как в сфере морского транспорта, так и во внешней среде. Необходимость решения этих проблем потребовала при безусловном сохранении целевых установок Программы пересмотра ее некоторых параметров (источников и размеров инвестиций, сроков ввода в эксплуатацию отдельных объектов, ряда нормативных документов и других).

Так, с учетом ограниченности централизованных капитальных вложений основной упор делается на банковские кредиты, собственные и привлеченные источники инвестиций. Пересматривается ценовая и тарифная политика. Развивается лицензионная деятельность. Усиливаются требования в области экологии, безопасности мореплавания, охраны труда. С учетом радикального изменения экономических, организационных и правовых условий деятельности морского транспорта разрабатывается новый Кодекс торгового мореплавания и ряд других руководящих документов.

Реализация Программы возрождения позволит России занять подобающее ей место в ряду передовых морских держав.

В. В. Малышев, К. А. Карп, В. В. Дарнопых, А. Ю. Смушев

Московский государственный авиационный институт

(технический университет), Москва, Россия

Современные движущиеся объекты, такие как летательные аппараты (ЛА), функционируют в условиях значительного количества случайных возмущающих воздействий, приводящих к существенным отклонениям характеристик объектов от их номинальных значений. Выход из строя или разрушение объектов вследствие возмущений является недопустимым событием. Для предотвращения этого события в инженерной практике приходится решать задачу управления и оптимизации характеристик объекта в условиях действия случайных возмущений.

В последнее время при решении этой задачи в качестве критерия все чаще используется вероятность события, при котором система функционирует успешно, или обратный к ней критерий - квантиль.

Нахождение вероятности при исследовании моделей рассматриваемых объектов возможно, как правило, только с помощью метода Монте-Карло, основанного на проведении статистического моделирования. Однако, при заданной вероятности, близкой к 1, требуется недопустимо большое количество статистических испытаний, что приводит к практической невозможности численного решения задач на ЭВМ.

Получить конструктивное решение задачи оптимизации по вероятностным критериям удается, используя новые информационные технологии - в частности, доверительный подход. Снижение вычислительных затрат при этом достигается за счет использования свойств моделей исследуемых объектов, позволяющих уменьшить объем статистического моделирования. На этой основе разработан ряд новых численных методов решения вероятностных задач [1,2].

Предложенные численные методы и созданная на их базе автоматизированная система решения вероятностных задач VERAN успешно использовалась для решения ряда прикладных задач, в том числе - анализа точности, управления движением, оптимизации и навигации ЛА различного назначения.

#### Литература

1. Малышев В. В., Карп К. А. Численные методы вероятностного анализа. М.: Изд-во МАИ, 1993.
2. Малышев В. В., Карп К. А. Методы оптимизации по вероятностным критериям. М.: Изд-во МАИ, 1994.

Моисеенко С.А. (Россия, Саратов)  
ОЦЕНКА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ФАЗОВЫХ ПОСТРАНСТВ  
НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

В [1] для анализа топологической структуры фазовых портретов нелинейных систем было предложено использовать кривую контактов топографической системы кроками фазовых траекторий. Указанная кривая представляет собой плоскую кривую, являющуюся геометрическим местом точек перегиба (нулевой ривизны) фазовых траекторий и определяющую ряд особых траекторий динамической системы, в том числе часть сепаратрис седла, а иногда и предельные циклы. Возникает проблема классификации возможных видов кривой контактов в зависимости от вида правой части дифференциальных уравнений модели объекта, представленной в форме Коши. При этом желательно оценить какие типы особых траекторий, являющихся ветвями кривой контактов, возможны для данного объекта управления при заданной форме обратных связей.

Поставленная задача рассматривалась для объектов управления, представленных системами дифференциальных уравнений с полиномиальными правыми частями. Для частного случая линейных систем было получено уравнение кривой контактов и рассмотрены возможные виды плоской кривой контактов в зависимости от коэффициентов правых частей. Это позволило оценить соотношение между типом состояния равновесия линейной системы (оно единственное) и характером поведения ветвей кривой контактов, и числом и расположением. По аналогии с линейным случаем решалась данная проблема для различных типов нелинейных объектов с квадратичными правыми частями, при этом в виду громоздкости результатов анализ проводился для объектов с одной квадратичной нелинейностью, двумя, тремя последовательно, т.е. в зависимости от конкретного вида объекта. Подобные исследования проведены и для отдельных классов систем с кубичными правыми частями, в результате чего дана классификация возможных типов кривой контактов в зависимости от вида правых частей уравнений объекта.

#### Литература

1. Моисеенко С.А. Анализ топологической структуры фазового пространства нелинейных химических объектов // Моделирование и оптимальное управление химическими производствами: Мехвузовский сборник научных трудов / МИХМ - М., 1991, - С.28-31.

## Методологические аспекты технологии компьютерного исследования и проектирования систем управления сложными движущимися объектами

Г.А. Опарин (Россия, Иркутск)

В 70-х годах В.М.Матросовым была предложена концепция конечного итерационного процесса, как технологии моделирования и оптимизации сложных систем. Настоящий доклад посвящен вопросам развития и уточнения этой технологии применительно к системам управления сложными движущимися объектами (СУ СДО) с целью ее углубленной автоматизации и инструментальной поддержки на базе средств и методов искусственного интеллекта. Такая детализированная и автоматизированная технология, в которой фундаментальную роль играет алгоритмическое знание, именуется как САТУРН-технология. Рассматриваются методологические аспекты модульности сложных математических моделей и алгоритмов их исследования, представления знаний о математических моделях СУ СДО и методах их анализа и проектирования, формулирования постановок задач, планирования схем решения задач, их конкретизации и исполнения, ввода информации и документирования результатов исследования. Определяется базирующийся на знаниях новый тип прикладных программных систем - пакет знаний и обсуждаются вопросы автоматизации и инструментальной поддержки САТУРН-технологии.

ЛИНЕАРИЗИРУЮЩАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И МЕТОД ВЕКТОРНЫХ ФУНКЦИЙ  
ЛЯПУНОВА В СИНТЕЗЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ГИРОСИЛОВЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В развитие приема функциональной параметризации координат при синтезе нелинейных управляемых систем с критическими переменными [1, 2], на основе глобального нелинейного преобразования нелинейных аффинных управляемых многомерных систем к каноническому представлению, аналитического синтеза линеаризирующей обратной связи с одновременным построением вектор-функции Ляпунова (ВФЛ) в виде совокупности векторных норм для подсистем в каноническом представлении, разработан конструктивный способ построения ВФЛ применительно к синтезу нелинейных систем управления в исходных координатах при неполном измерении состояния.

Описываются структурные особенности гиросиловых систем управления ориентацией (СУО) космических аппаратов (КА) зондирования, связи, навигации и выделяются режимы пространственного углового движения КА, для которых актуальны задачи синтеза СУО в существенно нелинейной постановке. Приводятся основные направления решения таких задач с применением как метода функций Ляпунова, так и метода глобальных нелинейных преобразований с построением линеаризирующей обратной связи (например [3, 4]).

Эффективность разработанного метода иллюстрируется в задаче синтеза управления гиродинамическим гиросиловым комплексом (СГК) минимально избыточной схемы в СУО упругого КА при существенной неопределенности его инерционных и жесткостных характеристик, неопределенности накопленного кинетического момента СГК при возможном отказе любого одного гиродина в его составе, для двух основных режимов – пространственной солнечно-земной ориентации КА на эллиптической орбите и пространственном поворотном маневре КА при крайних условиях общего вида.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (94-01-01497).

Л и т е р а т у р а

- [1] Сомов Е. И. Синтез нелинейных управляемых систем с применением векторных функций Ляпунова. - Дифференциальные уравнения и численные методы. - Новосибирск: Наука, 1986. - с. 72-89.

- [2] Сомов Е. И. Функциональная параметризация координат – прием синтеза нелинейной обратной связи в робастных системах управления с критическими переменными. - Новые направления в теории систем с обратной связью. Тез. докл.: Всеросс. совещ. - М.: ИТУ РАН, 1993. - с. 76.
- [3] Singh S.N., Bossart T. Exact Feedback Linearization and Control of Space Station Using a Control Moment Gyros. - IEEE Trans. on AC, Vol. 38, No 1, 1993. - pp. 184-187.
- [4] Sheen J.-J., Bishop R. Spacecraft Nonlinear Control. - J. of the Astronaut. Sci., Vol. 42, No 3, 1994. - pp. 361-377.

## ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОЛЕБАНИЯМИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЛЬСОВОГО ЭКИПАЖА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В динамике подвижного состава железных дорог движение высокоскоростного экипажа происходит в условиях тех или иных возмущений, обуславливаемых неровностями рельсового пути. Поэтому термин "возмущения" относится к особой категории входных сигналов системы "экипаж-рельсовый путь", которые ранее совсем не известны и не поддаются контролю.

Главной целью настоящего исследования является разработка нового подхода к проблеме возмущений при проектировании современных высокоскоростных рельсовых экипажей, в основу которого положена "теория регуляторов, приспособляющихся к возмущениям" (РПВ) [1]. Эта теория, предложенная К. Джонсоном применительно к рельсовым экипажам, открывает возможность управления колебаниями системы "экипаж-рельсовый путь" в режиме реального времени. Таким образом, представленный здесь подход может рассматриваться как современное обобщение упомянутых выше традиционных методов анализа динамического поведения экипажа, движущегося по рельсовому пути.

Одним из ответственных этапов управления динамическими процессами в системе "экипаж-рельсовый путь", является составление соответствующей математической модели. Хотя этой проблеме посвящено огромное количество исследований, модели составляются с учетом различных упрощающих предположений. В данной работе уравнения движения экипажа представлены для двухтележного локомотива как механической системы с 42 степенями свободы. При этом принята во внимание динамика пространственных перемещений рельсовых нитей, которая ранее в литературе не рассматривалась. В результате получена связанная система нелинейных дифференциальных уравнений, отображающих пространственные перемещения экипажа под воздействием 16 возмущающих функций. Поскольку проблема создания РПВ впервые рассматривается применительно к рельсовому подвижному составу, то внимание уделяется частной, но важной для практики линей-

ной модели, которая в векторной форме имеет вид:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Fw(t), \quad (1)$$

$$y(t) = Cx(t) + Eu(t), \quad (2)$$

где  $x(t) = (x_1, \dots, x_n)^T$  - вектор состояний системы,  $u(t) = (u_1, \dots, u_r)^T$  - вектор выходных сигналов системы,  $w(t) = (w_1, \dots, w_p)^T$  - вектор возмущений, приложенных к системе,  $y(t) = (y_1, \dots, y_m)^T$  - вектор выходных сигналов системы. Выходы динамической системы определяются как те переменные системы, которые доступны для непосредственного измерения в реальном масштабе времени. Матрицы  $A, B, C, E, F$  предполагаются известными.

Что касается функций возмущений, то для них получено следующее матричное уравнение:

$$\dot{w}(t) = Hz(t) + Lx(t), \quad (3)$$

$$\dot{z}(t) = Dz(t) + G(t), \quad (4)$$

где вектор  $z(t) = (z_1, \dots, z_r)^T$  играет роль "состояния" возмущения  $w(t)$ . Матрицы  $H, L, D$  в уравнениях (3) и (4) предполагаются известными. Буквой  $G(t)$  обозначена неплотная последовательность полностью неизвестных импульсных функций Дирака случайной интенсивности. Векторные уравнения (1) - (4) образуют систему уравнений движения экипажа по неровностям рельсового пути.

В соответствии с принципом оптимальности Джонсона рассмотрены три класса задач динамики рельсовых экипажей: задача стабилизации, задача регулирования относительно заданного уровня и задача слежения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. C. D. Johnson, "Theory of Disturbance-Accommodating Controllers in "Control and Dynamic Systems" (C.T. Leondes, ed.), Academic press, N.Y., vol. 12, p. 387-489, 1976.

В настоящей работе предлагается проблему устойчивости и управления для трансформирующихся нелинейных систем рассматривать в рамках новой концепции в науке, формирующейся в настоящее время. Сущность этой концепции состоит в следующем.

В системах, обменивающихся с окружающей средой энергией и веществом и функционирующих в сильно неравновесных условиях, могут возникать стационарные неравновесные состояния, представляющие собой структуры с высокой степенью упорядоченности, или, так называемые, диссипативные структуры. При изменении одного или нескольких характерных (управляющих) параметров системы в направлении все более сильной неравновесности под действием внешних и внутренних возмущений (флуктуаций), в некоторых критических точках (точках бифуркации) могут возникать неустойчивости, приводящие к переходу системы в одно из возможных состояний. Такой переход носит случайный характер. Можно считать, что реализуется то состояние, которое устойчиво по отношению к возмущениям.

Поведение таких систем описывается нелинейными дифференциальными уравнениями. При рассмотрении вопроса построения решений, возникающих в области неустойчивости стационарного состояния, важную роль играет проблема устойчивости.

Последовательность переходов системы во все более упорядоченные стабильные стационарные состояния рассматривается как физическая эволюция системы. Концептуальная сущность проблемы эволюции состоит в том, что явления такого рода, рассматриваемые в различных областях науки, имеют глубокое сходство. Это сходство позволяет применить один и тот же методологический подход к описанию механизма этих явлений в самых различных областях науки. Основанием для подобного подхода являются те аналогии, которые проявляются при рассмотрении поведения очень большого числа таких систем.

Общность процессов, происходящих в самых различных системах, подчинение этих процессов некоторым общим законам дает возможность рассмотрения не только физических и химических, но и других систем из различных областей науки. Подобный подход может найти (и уже находит) применение при рассмотрении и технических систем, в частности, в системных исследованиях и проектно-поисковых разработках средств ракетно-космической техники.

В настоящей работе рассматривается система из двух масс, соединенных гибким тросом, движущаяся в околоземном космическом пространстве по круговой орбите. Как показывает баллистический анализ, такая система в состоянии устойчивого равновесия располагается по направлению вектора силы тяготения. При движении таким образом ориентированного проводящего троса, изолированного от внешней среды, поперек магнитного поля Земли, на всей длине троса возникает Э.Д.С. индукции. Для поддержания непрерывного тока в изолированном тросе предлагается использовать полые катоды, которые позволяют получать токи (как электронные, так и ионные) в десятки ампер. Такие катоды способны обеспечить приток свободных электронов на верхнем конце проводника и сток их на нижнем в окружающее пространство. Ток в тросе при этом замыкается через ионосферную плазму. Процессы происходящие в ионосферной плазме, имеют нестационарный, сугубо нелинейный характер. Замкнутая токовая цепь, представляющая собой электрический контур с нелинейным элементом (плазма), рассматривается в работе как открытая система, функционирующая в сильно неравновесных условиях. Эквивалентная схема такой замкнутой токовой цепи представляет собой диссипативную динамическую систему, в которой "вязкостный" член нелинейно зависит от самой динамической переменной. Процесс в такой системе описывается в работе уравнением, в котором нелинейность обусловлена динамикой плазмы в магнитном поле. В безразмерной форме это уравнение имеет вид

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} - \varepsilon(1-\varphi^2)\frac{d\varphi}{dt} + \omega^2\varphi = 0.$$

Где  $\varepsilon$  - параметр, характеризующий интенсивность источника тока и кривую отклика нелинейного элемента.

Анализ этого уравнения с точки зрения устойчивости при  $\varepsilon \ll 1$  показал существование незатухающих колебаний типа предельного цикла. Полученный результат без изменений переносится на все  $\varepsilon > 1$  и  $\varepsilon \ll 1$ . При возрастании  $\varepsilon$  предельный цикл деформируется, напоминая по форме петлю гистерезиса.

Процессы, происходящие в токовой цепи или режиме работы ТКС, возникающие в этих условиях, трактуется как образование пространственно-временных структур (диссипативных структур) в сильно неравновесных условиях.



КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО  
ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ

Предлагается компьютерная модель прогноза, отражающая процессы развития городского пассажирского транспорта, промышленности, транспортного и жилого строительства, экологической ситуации с учетом ограничений на финансовые, трудовые и энергетические ресурсы с целью прогнозирования социально-экономической ситуации в масштабах Москвы. Полная система уравнений модели включает модель спроса на услуги городского пассажирского транспорта, модель функционирования, модель управления и модель использования трудовых ресурсов.

Анализируя полученные результаты, можно сделать выводы, что динамика объемов перевозки пассажиров имеет колебательный характер с периодом колебаний, близким к 7 годам, с пиком, приходящимся на 1997 год. Сравнительные цифры: объем перевозок в 1992 году - 8658 млн. пассажиров, а в 1997 г. ожидается 8902 млн. пассажиров. Выпуск промышленной продукции имеет характер затухающих колебаний с общей выраженной тенденцией к спаду. Однако к 1996, 1997, 1998 г.г. можно ожидать некоторое оживление ситуации, которая однако продлится недолго, после 1999 г. ожидается очередной спад, который скорее всего не будет затяжным, т.к. начиная с 1998 г. намечается восстановление объема основных производственных фондов. Начиная с 1995 г. наблюдается превышение предложения трудовых ресурсов над спросом, в результате чего ожидается рост безработицы, которая к 1997 г. достигнет 169 тыс. человек, после чего плавно пойдет на убыль. Городской пассажирский транспорт представляет на рынок труда 180-190 тыс. рабочих мест ежегодно.

PULSE STABILIZATION OF NOMINAL PATHS OF CONTROLLED DYNAMIC  
SYSTEMS

The issue is considered concerning construction of controls which provide, within a limited period of time, the demanded accuracy of executing (stabilization) of nominal paths of controlled dynamic systems.

The technology described is rather uniform and makes it possible to construct controls, discrete by level and time, pulse controls in the first place. Situations are considered when structural parameters of the system, including its executive bodies, are known with certain (not necessarily small) errors from predefined ranges.

The synthesis of the desired controls has been carried out within the framework of Lyapunov's direct method. As a result, multiparametrical families of pulse controls with practically free parameters were constructed, which solve the task of stabilization of nominal paths of controlled dynamic systems for the case when the information about system parameters is accurate and for the case when the parameters contain errors from the known - and not always small - ranges.

The following groups of controlled dynamical systems are studied:

- systems described by the second order Lagrange equations where controls are generalized forces formed on the basis of information on generalized coordinates and generalized velocities of the system;
- systems described by the Euler-Poisson equations used for description of rotary movement of a rigid body with fixed point, controlled by the applied moment of force which is formed on the basis of information on angular position and angular velocity of the body with respect to the coordinate system tightly connected with the latter;
- systems described by sets of second order Lagrange equations and Euler-Poisson equations, used for description of rotary movement of a rigid body controlled by flywheels and powered gyroscopes placed on it; in this case additional information on the movement of the flywheels and the gyroscopes with respect to the body;
- systems of hierarchic structure, linear by control, that are the generalization of the above mentioned controlled dynamical systems.

Шапошников В.Г. (Россия, Москва)  
 МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПОДСИСТЕМ  
 ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Предполагается устойчивость системы уравнений

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= I_1(t) - \mu x_1(t) & i &= 1, 2, 3, 4 \\ \dot{x}_2(t) &= g_2(t) - R_2(t) \\ \dot{x}_3(t) &= f(x_3(t)) \\ \dot{x}_4(t) &\geq 0, \end{aligned}$$

где  $x_i(t)$  - объем основных производственных фондов (ОПФ) подсистемы;  $I_i(t)$  - объем инвестиций;  $g_2(t)$  - функция дохода от эксплуатации подсистемы;  $R_2(t)$  - эксплуатационные расходы;  $\mu$  - норма амортизации ОПФ.

Предполагается, что

$$\frac{\partial g_2(x_2)}{\partial x_2} > 0; \quad \frac{\partial^2 g_2(x_2)}{\partial x_2^2} < 0; \quad f'(x_3) = \alpha f_3(x_3).$$

Следовую, что при  $0 \leq I_i(t) \leq \mu x_i$  имеет место спад объема пассажирских перевозок для  $i$ -ой подсистемы. Устойчивое развитие будет иметь место при  $I_i(t) > \mu x_i(t)$ . Однако это условие не является достаточным. Уровень расходов  $R_2(t)$  зависит от ежегодно изменяющихся цен на используемые ресурсы, в том числе материальные и трудовые. Доход  $g_2(t)$  подсистемы во многом определяется стоимостью проезда данным видом городского пассажирского транспорта.

Однако бесконечно поднимать стоимость проезда невозможно по ряду причин, в том числе и социальных. Поэтому при заданной стоимости проезда условия устойчивого развития будут определяться расценками на материальные и трудовые ресурсы. При этих условиях построена производственная функция для четырех видов городского пассажирского транспорта, работающих в Москве: метрополитена, трамвая, троллейбуса и автобуса. Троллейбусным методом показано, что в общем случае, в зависимости от уровня цен на трудовые и материальные ресурсы существует две точки развития, одна из которых устойчивая, другая неустойчивая. Указан диапазон значений фондовооруженности, для которого сохраняются условия устойчивого развития. При этом при заданном уровне цен на используемые ресурсы необходим достаточно высокий первоначальный уровень фондовооруженности.

