

РАБОТЫ В ТОМСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ПО ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Дается обзор основных результатов научных исследований в области теории управления на кафедре прикладной математики ФПМК Томского государственного университета за 1960–2000 гг.

Основное научное направление кафедры прикладной математики – теория управления динамическими объектами, включая теорию автоматического управления, статистическую динамику, теорию оптимального управления, оптимальную фильтрацию, структурную оптимизацию многосвязных систем управления. Эти работы начались в ТГУ в 1960-х гг.

В качестве математической модели исследований используется метод пространства состояний, когда управляемый процесс характеризуется вектором фазовых координат, а его изменение описывается системой дифференциальных (или разностных) уравнений, в правые части которых кроме фазовых координат могут входить управляющие и случайные воздействия. Кроме того, имеется наблюдаемый или измеряемый процесс, который как-то связан с управляемым процессом и несет информацию о его текущем состоянии. Наблюдения или измерения могут сопровождаться случайными ошибками или помехами в измерительном канале.

Общая задача управления состоит в выборе такого закона управления, при котором достигается определенное качество функционирования всей системы. При этом предполагается, что для вычисления управления в текущий момент времени могут использоваться результаты измерений наблюдаемого процесса в предыдущие моменты времени.

В зависимости от вида правых частей указанных выше уравнений можно выделить типы систем управления: детерминированные или стохастические (для первых в правых частях уравнений отсутствуют случайные возмущения); с параметрической неопределенностью или без (входят или нет в правые части уравнений неизвестные параметры); линейные или нелинейные; стационарные или нестационарные (в первом случае правые части уравнений не зависят явно от времени).

В зависимости от свойств измеряемого процесса рассматриваются: системы с полной информацией о координатах объекта, когда предполагается, что все фазовые координаты объекта в каждый момент времени измеряются точно без ошибок; системы с неполной информацией о координатах объекта, когда предполагается, что в каждый момент времени точно без ошибок измеряется только часть фазовых координат объекта или некоторые функции от них (косвенные измерения); системы со стохастическими измерениями, когда измерения сопровождаются случайными ошибками.

Рассмотрим полученные результаты по научным направлениям в рамках указанной выше предметной области, по которым велись исследования на кафедре прикладной математики факультета прикладной математики и кибернетики ТГУ.

1. Теория оптимального управления стохастическими системами

Эти работы начались Ю.И. Параевым еще в начале 1960-х гг. Получены следующие основные результаты:

- систематически изложены методы решения задач анализа, оптимальной фильтрации и оптимального управления для автоматических систем, подверженных одновременному влиянию помех гауссовского и пуассоновского типов;

- проведена классификация задач оптимального управления по виду обратной связи, то есть по типу зависимости наблюдаемого процесса от управляемого (ненаблюдаемого) процесса;

- выделено четыре типа таких задач: задачи с полной информацией о состоянии объекта, задачи с неполной информацией о состоянии объекта, задачи со стохастической обратной связью, когда измерения наблюдаемого процесса сопровождаются помехами, и задачи при отсутствии каких-либо изме-

рений управляемого процесса; для каждого из этих вариантов приведены и обсуждены основные способы решения;

- подробно рассмотрены задачи оптимального управления при квадратическом критерии для линейных систем с аддитивными и мультипликативными помехами, а также найдены условия их стохастической устойчивости;

- рассмотрены задачи оптимального управления при квадратическом критерии и найдены условия стохастической устойчивости для линейных систем со случайными коэффициентами, которые могут быть неизвестными константами, коррелированным гауссовским процессом или марковским процессом с конечным числом состояний. Основные результаты опубликованы в монографиях [М5, М6], а также в статьях [60, 61, 64, 65, 68, 69, 71–73, 75, 78, 92].

2. Оптимальная фильтрация и обработка информации

Основная задача обработки стохастических сигналов состоит в вынесении какого-либо статистического решения о состоянии объекта на основе измерений наблюдаемого процесса в течение некоторого интервала времени. В большинстве случаев вынесение статистического решения сводится к построению оценки для текущего состояния объекта, хотя возможны варианты построения интерполяционных или экстраполяционных оценок, а также вынесение других статистических решений.

Наибольшее число работ в данном направлении принадлежит Н.С. Демину. Основное отличие этих работ от традиционных подходов заключается в том, что, во-первых, рассматриваются задачи оценивания и распознавания по совокупности непрерывных и дискретных по времени наблюдений, и, во-вторых, алгоритмы обработки зависят как от текущих (алгоритмы без памяти), так и от произвольного числа прошлых значений ненаблюдаемого процесса (алгоритмы с памятью). Работы [8, 9, 11, 13, 15, 17–19, 31, 32] посвящены задачам нахождения

оптимальных в квадратическом смысле оценок фильтрации, интерполяции и экстраполяции как по непрерывным, так и по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений без памяти; [1–3, 20, 21, 36, 35] – этим же задачам в случае наблюдений с памятью; [22, 23, 27–29, 33, 34] – задачам синтеза фильтров при наличии в канале измерений кроме гауссовских помех еще некоторых аномальных помех; [9, 10, 12, 14, 16, 17, 27, 30] – задачам распознавания случайных процессов. Здесь большой теоретический и практический интерес имеет постановка и решение задачи об оценивании координат

3. Аналитическое конструирование линейных регуляторов

Первые работы Ю.И. Параева [58, 59, 66] связаны с решением некоторых вариантов известной задачи Летова-Калмана. В [М7] изложены общая теория линейных операторов, которая лежит в основе теоретического обоснования синтеза регуляторов, и свойства управляемости и наблюдаемости. В [М9] изложена теория матричных уравнений Ляпунова и Риккати, к решению которых сводятся задачи устойчивости и синтеза регуляторов и фильтров.

В [82, 84] Ю.И. Параев и Е.А. Перепелкин рассмотрели задачи модального управления для систем

4. Алгоритмы локально-оптимального управления

Алгоритмы локально-оптимального управления получили широкое распространение из-за их простоты и удобства реализации. Основные результаты в этом направлении принадлежат В.И. Смагину. В работах [86–93] и монографии [М11] решаются задачи синтеза следящих систем управления по квадратическим критериям (локальным, интегральным и обобщенной работы) для объектов, функционирующих в условиях неполной информации о векторе состояния и при неопределенностях в описании моделей таких систем. Рассмотрены вопросы применения следящих систем управления к синтезу терминального управления подвижными объектами. Предложены и исследованы алгоритмы фильтрации с вырожденной матрицей интенсивностей шумов канала измерений. Построены оценки локальных и суммарных критериев, исследованы асимптотиче-

ские характеристики локально-оптимальных систем слежения. Разработаны алгоритмы идентификации на основе настраиваемых локально-оптимальных фильтров. Построен алгоритм синтеза системы слежения по интегральному квадратическому критерию для объектов, подверженных воздействиям гауссовского и пуассоновского типов. Разработан метод локально-оптимального управления подвижными объектами на основе слежения за фиктивной точкой. Рассмотрена задача синтеза следящих систем управления на основе оптимизации критерия обобщенной работы со скользящим интервалом времени и с использованием прогнозирующей модели наблюдаемого выхода. В качестве приложения рассмотрена методика синтеза управляющих воздействий для морских судов, движущихся в сложных навигационных условиях.

К указанным проблемам можно отнести также работы по изучению свойств оценок Калмана [70, 77] и работы по идентификации – оценке параметров динамических систем [56, 74, 76, 79, 93].

тем с неполной информацией, а в [83, 86, 88] – аналогичные задачи, но для дискретных систем. Дальнейшие работы по проблеме синтеза линейных регуляторов связаны со свойствами уравнения Сильвестра [М10, 85, 89]. Существенным результатом здесь явилось введение обобщенной передаточной матрицы [87], что является обобщением классического понятия в теории автоматического управления. Введение этой матрицы позволило дать обоснование теории многомерных ПИД-регуляторов.

5. Системы с переменной структурой

Под системами с переменной структурой понимают системы, описываемые дифференциальными уравнениями, правые части которых могут изменяться на разных интервалах времени. В работе [80] найдены условия устойчивости для системы линейных дифференциальных уравнений, в которой матрица динамики является марковской цепью с конечным числом состояний.

В работах [4–6, 81, 90] рассматривается система с переменной структурой, когда временная ось разбивается на равные интервалы одинаковой длительностью и внут-

ри каждого интервала происходит переключение структуры. Управление объектом осуществляется за счет подходящего выбора моментов переключения структур внутри каждого временного интервала. Примером подобных систем являются автоматические системы с широтно-импульсной модуляцией. Для подобных систем решена задача модального управления и задача локально-оптимального управления. В качестве примера рассматриваются задачи управления электромеханическими объектами.

6. Оптимизация структуры многосвязных систем

Основные работы в этом направлении связаны с выявлением и последующим исключением несущественных связей в многосвязных измерительно-управляющих комплексах. Результатом является постановка и решение задач

в области структурной и параметрической оптимизации многосвязных систем управления. Здесь первыми были работы Ю.И. Параева [62, 63, 67], в которых впервые поставлена задача оптимизации структуры измерительного

комплекса. Проведенные исследования на примере ряда конкретных измерительных комплексов показали, что, как правило, такие комплексы оказываются избыточными, то есть часть измерителей можно исключить, не ухудшая точность определения координат объекта.

В работе Ю.И. Параева и В.И. Смагина [93] поставлена и решена задача структурной и параметрической оптимизации линейных регуляторов и линейных фильтров. Предложена методика выявления и исключения несущественных связей в системе, которая не ухудшает общее качество регулирования и оценивания.

В [91] рассмотрены вопросы синтеза экономичных в вычислительном отношении оценивателей и регуляторов пониженного порядка, предназначенных для оценивания и управления различными классами динамических систем в условиях большой размерности пространства состояний, высокой скорости поступления информации и ограниченных ресурсов вычислительных средств.

В работах В.В. Домбровского [7, 47–55, М4] поставлена и решена задача понижения порядка систем оценивания и управления. В этих работах рассмотрен метод синтеза оценивателей (фильтров и экстраполяторов) пониженного порядка, позволяющий понижать порядок на основе критериев качества оценивания совместно с оптимизацией параметров и синтезировать оцениватели любой размерности, меньшей чем размерность исходной системы, оптимальные в классе устройств оценивания заданной структуры. Эти оцениватели позволяют восстанавливать полный вектор состояний. Рассмотрены вопросы построения таких оценивателей для различных классов систем: дискретных, непрерывных, непрерывных с дискретными наблюдениями, систем с аддитивными и мультипликативными шумами, систем со случайными параметрами. На основе модификации метода предложен подход, позволяющий вместе с уравнением оценивания понижать порядок матричных уравнений типа

Риккати для ковариаций ошибок оценивания и расчета параметров. Для стационарных систем предложен метод синтеза оценивателей, гарантирующий их устойчивость, если система стабилизируема и детектируема. Предложен подход к синтезу динамических регуляторов с оценивателями пониженного порядка в цепи обратной связи, обеспечивающий заданный спектр замкнутой системы. Рассмотрены задачи понижения порядка (агрегирования) линейных стохастических систем, а также задачи гарантированного различения (классификации) частично наблюдаемых стохастических процессов (систем) с использованием оценивателей пониженного порядка.

Разработанные теоретические результаты в 1960–90 гг. широко применялись в ряде ведущих отраслевых институтах страны при проектировании сложных информационно-управляющих комплексов для летательных аппаратов и некоторых технологических процессов.

Сотрудниками кафедры, а также под руководством сотрудников кафедры защищены докторские диссертации:

1981 г. – Параев Ю.И. Параметрическая и структурная оптимизация в задачах статистической динамики процессов управления и фильтрации;

1989 г. – Демин Н.С. Оценивание, распознавание и передача информации в стохастических системах;

1994 г. – Смагина Е.М. Определение, вычисление и применение нулей многомерной системы;

1996 г. – Домбровский В.В. Методы понижения порядка систем оценивания и управления;

1998 г. – Смагин В.И. Методы синтеза следящих систем управления по квадратическим критериям в условиях неполной информации;

1998 г. – Букреев В.Г. Адаптивные регуляторы в широтно-импульсных системах управления электро-механическими объектами.

ЛИТЕРАТУРА

МОНОГРАФИИ

1. Демин Н.С. Теория оценивания и распознавания стохастических сигналов. Томск: Изд-во ТГУ, 1983. 110 с. 2. Демин Н.С. Теория фильтрации. Томск: Изд-во ТГУ, 1985. 140 с. 3. Демин Н.С., Лузина Л.И. Оптимизация систем фильтрации стохастических сигналов. Томск: Изд-во ТГУ, 1991. 191 с. 4. Домбровский В.В. Понижение порядка систем оценивания и управления. Томск: Изд-во ТГУ, 1994. 175 с. 5. Параев Ю.И. Введение в статистическую динамику процессов управления и фильтрации. Томск: Изд-во ТГУ, 1973. 200 с. 6. Параев Ю.И. Введение в статистическую динамику процессов управления и фильтрации. М: Сов. радио, 1976. 156 с. 7. Параев Ю.И. Алгебраические методы в теории линейных систем управления. Томск: Изд-во ТГУ, 1980. 168 с. 8. Параев Ю.И. Теория оптимального управления. Томск: Изд-во ТГУ, 1986. 164 с. 9. Параев Ю.И. Уравнения Ляпунова и Риккати. Томск: Изд-во ТГУ, 1989. 168 с. 10. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Линейные матричные уравнения в задачах анализа и синтеза многосвязных динамических систем. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2000. 117 с. 11. Смагин В.И., Параев Ю.И. Синтез следящих систем управления по квадратическим критериям. Томск: Изд-во ТГУ, 1996. 172 с.

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

1. Абакумова О.Л., Демин Н.С., Сушко Т.В. Фильтрация стохастических сигналов с непрерывным временем по дискретным наблюдениям с памятью // Проблемы передачи информации. 1995. Т. 31. № 1. С. 68–83. 2. Абакумова О.Л., Демин Н.С., Сушко Т.В. Фильтрация стохастических процессов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с памятью. I. Основное уравнение нелинейной фильтрации // Автоматика и телемеханика. 1995. № 9. С. 49–59. 3. Абакумова О.Л., Демин Н.С., Сушко Т.В. Фильтрация стохастических процессов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с памятью. II. Синтез фильтров // Автоматика и телемеханика. 1995. № 10. С. 36–49. 4. Афанасьев В.Н., Букреев В.Г., Параев Ю.И. Нелинейное управление электро-механическими объектами с переменными параметрами // Электротехника. 1998. № 10. С. 1–5. 5. Букреев В.Г., Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Применение метода модального систематизации с неполной информацией для стабилизации электро-механических систем с широтно-импульсной модуляцией // Электричество. 1998. № 1. С. 48–50. 6. Букреев В.Г., Параев Ю.И., Перепелкин Е.А. Управление электро-механическими объектами с переменной структурой // Изв. вузов. Приборостроение. 1999. № 9. С. 34–38. 7. Васильева Е.Д., Домбровский В.В. Синтез динамических регуляторов пониженного порядка по квадратическому критерию // Автоматика и телемеханика. 1995. № 7. С. 43–50. 8. Демин Н.С. О процедуре сглаживания для скачкообразных марковских сигналов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1975. № 6. С. 129–136. 9. Демин Н.С. Оптимальное оценивание состояния и оптимальная классификация стохастических систем со случайными скачкообразными процессами в канале измерений // Автоматика и телемеханика. 1976. № 8. С. 25–33. 10. Демин Н.С. Оптимальное распознавание случайных марковских сигналов с непрерывными и скачкообразными компонентами // Радиотехника и электроника. 1976. № 10. С. 2142–2148. 11. Демин Н.С. Оптимальное сглаживание с постоянным запаздыванием векторов состояний динамических систем // Автометрия. 1977. № 1. С. 8–16. 12. Демин Н.С. Оптимальное распознавание скачкообразных компонент марковских сигналов // Проблемы передачи информации. 1977. № 2. С. 45–54. 13. Демин Н.С. Интерполяция состояния стохастической системы со случайными параметрами при непрерывно-дискретных наблюдениях // Автоматика и телемеханика. 1977. № 7. С. 28–38. 14. Демин Н.С. Оптимальная классификация непрерывных компонент марковских процессов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений // Автоматика и телемеханика. 1978. № 1. С. 44–52. 15. Демин Н.С. Адаптивное оценивание вектора состояния линейной стохастической динамической системы по совокупности непрерывных и дискретных измерений // Автометрия. 1978. № 2. С. 40–46. 16. Демин Н.С. Оптимальное распознавание случайных марковских сигналов с непрерывными и скачкообразными компонентами при непрерывно-дискретных наблюдениях // Радиотехника и электроника. 1978. № 7. С. 1543–1545. 17. Демин Н.С. Оценивание и классификация случайных марковских сигналов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1979. № 1. С. 153–160. 18. Демин Н.С. Фильтрация и интерполяция скачкообразного марковского процесса по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений // Радиотехника и электроника. 1979. № 5. С. 1079–1082. 19. Демин Н.С. Непрерывно-дискретная сколь-

зящая экстраполяция марковских процессов // Автоматика и телемеханика. 1981. № 7. С. 74–83. **20. Демин Н.С.** Фильтрация случайных процессов при непрерывно-дискретных каналах наблюдения с памятью // Автоматика и телемеханика. 1987. № 3. С. 59–69. **21. Демин Н.С.** Экстраполяция случайных процессов при непрерывно-дискретных каналах наблюдения с памятью // Автоматика и телемеханика. 1992. № 4. С. 64–72. **22. Демин Н.С., Жадан Л.И.** Об оптимальности процедуры исключения аномальных измерений // Автоматика и телемеханика. 1983. № 4. С. 29–33. **23. Демин Н.С., Жадан Л.И.** Синтез и анализ оптимального алгоритма фильтрации для дискретных сигналов с аномальными помехами // Радиотехника и электроника. 1984. № 2. С. 250–255. **24. Демин Н.С., Кадиров М.Р.** Информационный анализ задачи экстраполяции стохастических процессов в случае непрерывно-дискретных наблюдений с памятью // Изв. вузов. Физика. 1999. № 3. С. 135–140. **25. Де-мин Н.С., Короткевич В.И.** О количестве информации в задачах фильтрации компонент марковских процессов // Автоматика и телемеханика. 1983. № 7. С. 87–96. **26. Демин Н.С., Короткевич В.И.** Об уравнениях для шенноновского количества информации при передаче марковских диффузионных сигналов по каналам с памятью // Проблемы передачи информации. 1987. № 1. С. 16–27. **27. Демин Н.С., Лузина Л.И.** Точность оценивания и обнаруживаемость отказов в системах фильтрации при резервировании измерительных комплексов // Автоматика и телемеханика. 1994. № 6. С. 46–57. **28. Демин Н.С., Михайлюк В.В.** Фильтрация в стохастических динамических системах при аномальных помехах в каналах наблюдения. I. Системы с непрерывным временем // Изв.РАН. Техническая кибернетика. 1994. № 4. С. 46–52. **29. Демин Н.С., Михайлюк В.В.** Фильтрация в стохастических динамических системах при аномальных помехах в каналах наблюдения. II Системы с непрерывно-дискретными каналами наблюдения // Изв.РАН. Техническая кибернетика. 1994. № 6. С. 46–57. **30. Демин Н.С., Михайлюк В.В.** Обнаружение аномальных помех в случае непрерывно-дискретных каналов наблюдения // Автоматика и телемеханика. 1994. № 1. С. 109–119. **31. Демин Н.С., Петров В.В.** Интерполяция состояния стохастической системы со скачкообразными параметрами по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1977. № 6. С. 193–202. **32. Демин Н.С., Петров В.В.** Фильтр Калмана-Бьюси для коррелированных непрерывно-дискретных наблюдений // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 1978. № 5. С. 14–19. **33. Демин Н.С., Рожкова С.В.** Фильтрация стохастических сигналов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с памятью при наличии аномальных помех // Автоматика и телемеханика. 1999. № 3. С. 23–35. **34. Демин Н.С., Рожкова С.В.** Непрерывно-дискретная фильтрация стохастических процессов в случае наблюдений с памятью при наличии аномальных помех // Автоматика и телемеханика. 1999. № 1. С. 13–25. **35. Демин Н.С., Рожкова С.В., Рожкова О.В.** Обобщенная скользящая экстраполяция стохастических процессов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с фиксированной памятью // Автоматика и телемеханика. 1999. № 4. С. 23–34. **36. Демин Н.С., Сушко Т.В., Яковлева А.В.** Обобщенная обратная экстраполяция стохастических процессов по совокупности непрерывных и дискретных наблюдений с памятью // Изв.РАН. Теория и системы управления. 1997. № 4. С. 48–59. **37. Домбровский В.В.** Метод синтеза субоптимальных фильтров пониженного порядка для дискретных линейных динамических систем // Автоматика и телемеханика. 1981. № 11. С. 66–73. **38. Домбровский В.В.** Об одной модификации и некоторых свойствах оценки пониженного порядка // Автоматика и телемеханика. 1984. № 6. С. 65–69. **39. Домбровский В.В.** О синтезе и свойствах модифицированного линейного фильтра пониженного порядка // Автоматика и телемеханика. 1985. № 2. С. 73–78. **40. Домбровский В.В.** О синтезе и устойчивости непрерывных и дискретных линейных фильтров пониженного порядка // Автоматика и телемеханика. 1989. № 11. С. 91–99. **41. Домбровский В.В.** Синтез дискретного экстраполятора пониженного порядка // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1989. № 1. С. 120–124. **42. Домбровский В.В.** О приближенном агрегировании линейных стохастических систем // Автоматика и телемеханика. 1989. № 7. С. 102–109. **43. Домбровский В.В.** Различные частично наблюдаемых дискретных стохастических процессов // Радиотехника и электроника. 1989. Т. 35. № 12. С. 2539–2545. **44. Домбровский В.В.** Экстраполятор пониженного порядка для оценивания линейных функционалов вектора состояний // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1991. № 2. С. 134–138. **45. Домбровский В.В.** Гарантированное различие дискретных стохастических процессов с использованием экстраполятора пониженного порядка для оценивания // Радиотехника и электроника. 1991. Т. 36. № 12. С. 2516–2524. **46. Домбровский В.В.** Динамические регуляторы пониженного порядка для детерминированных и стохастических систем // Автоматика и телемеханика. 1991. № 11. С. 87–95. **47. Домбровский В.В.** О при-ближенном агрегировании одного класса нестационарных линейных стохастических систем // Автоматика и телемеханика. 1994. № 3. С. 70–75. **48. Домбровский В.В.** Понижение порядка линейных многомерных систем при H_∞ -ограничениях // Автоматика и телемеханика. 1994. № 4. С. 123–132. **49. Домбровский В.В.** Синтез оценщиков пониженного порядка для дискретных систем со случайными параметрами // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1994. № 6. С. 58–64. **50. Домбровский В.В.** Синтез оптимальных динамических регуляторов пониженного порядка для нестационарных линейных дискретных стохастических систем // Автоматика и телемеханика. 1996. № 4. С. 79–86. **51. Параев Ю.И.** Об оптимальных процессах управления при стохастической обратной связи // Автоматика и телемеханика. 1965. № 10. С. 1672–1681. **52. Параев Ю.И.** О влиянии характеристик измерительных устройств на точность предсказания траекторий физических процессов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1965. № 4. С. 24–30. **53. Параев Ю.И.** О предсказании траекторий движения стохастических систем // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1966. № 1. С. 87–94. **54. Параев Ю.И.** Об оптимальных процессах управления динамическими системами в стохастическом случае // Самообучающиеся автоматические системы. М.: Наука, 1966. С. 386–401. **55. Параев Ю.И.** Об оптимальном управлении стохастическими системами // Автоматика и телемеханика. 1966. № 6. С. 61–71. **56. Параев Ю.И.** О прямом решении одной задачи аналитического конструирования регуляторов // Оптимальные системы автоматического управления. М.: Наука. 1967. С. 95–98. **57. Параев Ю.И.** Предсказание траекторий стохастических систем при инерционном измерительном устройстве. // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1967. № 1. С. 137–150. **58. Параев Ю.И.** Об оптимальном управлении стохастическими системами // Оптимальное управление. Статистические методы. М.: Наука. 1967. С. 278–286. **59. Параев Ю.И.** On optimal control of stochastic systems with unknown characteristics of noise // Proc. IFAC symposium on multivariable control systems. Dusseldorf, 1968. P. 121–130. **60. Параев Ю.И.** О вероятностных характеристиках оценок Калмана // Автоматика и телемеханика. 1969. № 9. С. 29–36. **61. Параев Ю.И.** Об оптимальном управлении динамическими системами в стохастическом случае // Труды СФТИ. Вып. 49. Томск, 1970. С. 188–200. **62. Параев Ю.И.** Решение с помощью метода динамического программирования одной задачи об оптимальном управлении стохастическими системами // Труды СФТИ. Вып. 49. Томск, 1970. С. 201–206. **63. Параев Ю.И.** Об оптимальном управлении при инерционной и стохастической обратной связи // Нелинейные и оптимальные системы. М.: Наука, 1971. С. 119–124. **64. Параев Ю.И.** On a method of estimation of unknown parameters of the linear dynamic objects // Proc. 2-nd IFAC symposium on multivariable control systems. Dusseldorf, 1971. P. 201–207. **65. Параев Ю.И.** К анализу поведения линейных динамических систем со случайными коэффициентами // Автоматика и телемеханика. 1972. № 4. С. 36–41. **66. Параев Ю.И.** Адаптация и оптимальное управление. Решение некоторых задач фильтрации динамических сигналов, формирующихся из случайных процессов гауссовского и пуассоновского типов // Адаптация и автоматические системы. М.: Сов. радио, 1972. С. 78–85. **67. Параев Ю.И.** Об эквивалентности оценок Калмана и оценок максимального правдоподобия // Труды СФТИ. Вып. 64. Томск, 1973. С. 71–77. **68. Параев Ю.И.** О вероятностных характеристиках функционалов от марковских процессов // Труды СФТИ. Вып. 64. Томск, 1973. С. 78–84. **69. Параев Ю.И.** Adaption and optimal control solution of problem of filtering of dynamical signals formed by gaussian and poisson random processes // Journal of cybernetics. 1974. Vol. 3. № 4. P. 78–91. **70. Параев Ю.И.** Об устойчивости линейных систем со случайным изменением структуры // Автоматика и телемеханика. 1982. № 8. С. 165–168. **71. Параев Ю.И., Букреев В.Г.** Локально-оптимальное управление электро-механическими объектами // Электротехника. 1998. № 8. С. 48–52. **72. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А.** О модальном управлении с помощью динамической обратной связи по выходу // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1981. № 4. С. 45–48. **73. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А.** Синтез регулятора с памятью для линейной дискретной системы // Автоматика и телемеханика. 1982. № 8. С. 36–40. **74. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А.** Модальное управление с помощью динамической обратной связи // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1982. № 4. С. 42–46. **75. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А.** Синтез динамических компенсаторов на основе матричного уравнения Сильвестра // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 1986. № 6. С. 20–24. **76. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А.** Применение наблюдателей с конечной памятью в цифровых ПИ-регуляторах многомерных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 1995. Т. 38. № 11–12. С. 29–32. **77. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А.** Понятие обобщенной передаточной матрицы и условие инвариантности линейной многосвязной системы // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1995. № 6. С. 45–49. **78. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А.** Влияние периода дискретизации измерений на качество оценки состояния непрерывной стохастической системы // Автоматика и телемеханика. 1998. № 2. С. 24–27. **79. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А.** Матричное уравнение Сильвестра в задаче алгебраического синтеза многосвязных линейных систем // Изв. вузов. Авиационная техника. 1998. № 4. С. 29–33. **80. Параев Ю.И., Перепелкин Е.А.** Локально-оптимальное управление системами с переменной структурой // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2000. № 1. С. 23–26. **81. Параев Ю.И., Решетникова Г.Н., Смагин В.И.** Синтез экономичных алгоритмов цифрового адаптивного управления в экстремальных ситуациях // Вычислительные технологии. 1992. Т. 1. № 3. С. 249–255. **82. Параев Ю.И., Смагин В.И.** Решение задач оптимального управления стохастическими объектами при воздействии шумов гауссовского и пуассоновского типов // Труды СФТИ. Вып. 64. Томск. 1973. С. 46–56. **83. Параев Ю.И., Смагин В.И.** Задача упрощения структуры оптимальных регуляторов // Автоматика и телемеханика. № 6. 1975. С. 180–183. **84. Параев Ю.И., Смагин В.И.** Синтез экстремальных управлений в дискретных системах с неполной информацией // Изв. вузов. Приборостроение. № 2. 1988. С. 77–81. **85. Параев Ю.И., Цветническая С.А.** Linear system parameters and state estimation // Second IFAC symposium on stochastic. Vilnius, 1986. С. 78–82. **86. Смагин В.И.** Локально-оптимальное управление летательным аппаратом с оптимизацией конечного состояния // Изв. ВУЗов. Авиационная техника. 1993. № 4. С. 74–76. **87. Смагин В.И.** Локально-оптимальные следящие системы управления при косвенных измерениях с ошибками // Изв. вузов. Авиационная техника. 1995. № 1. С. 26–30. **88. Смагин В.И.** Динамические локально-оптимальные следящие системы управления // Изв. вузов. Авиационная техника. 1995. № 4. С. 23–26. **89. Смагин В.И.** Линейная фильтрация в непрерывных системах с вырожденной матрицей интенсивностей шумов измерителя // Автоматика и вычислительная техника. 1996. № 1. С. 54–60. **90. Смагин В.И.** Локально-оптимальное управление в дискретных системах с неизменяемыми постоянными возмущениями и параметрами // Изв. вузов. Приборостроение. 1997. Т. 40. № 1. С. 37–41. **91. Смагин В.И.** Адаптивные локально-оптимальные следящие системы управления // Изв. вузов. Авиационная техника. 1997. № 2. С. 41–46. **92. Смагин В.И.** Локально-оптимальные следящие системы управления для дискретных объектов со случайными параметрами // Автоматика и вычислительная техника. 1997. № 2. С. 32–40. **93. Смагин В.И.** Локально-оптимальные следящие системы управления при неконтролируемых возмущениях // Изв. вузов. Авиационная техника. 2000. № 1. С. 41–46.

Статья поступила в научную редакцию 20 марта 2000 г.