

II 495-605

IV КОНГРЕСС ИФАК

**IFAC**



Краткое Содержание Докладов  
Принятых на Сессии Конгресса

ВАРШАВА 16 — 21 ИЮНЯ 1969

---

Организованный  
Главной Технической Организацией в Польше

# IV КОНГРЕСС ИФАК

## Краткое Содержание Докладов Принятых на Сессии Конгресса

**ВАРШАВА 16 — 21 ИЮНЯ 1969**

---

Организованный  
Главной Технической Организацией в Польше

С о д е р ж а н и е

Доклад  
№

Стр.

4.1 GB	- М.С.Бек, П.Р.Бирч, Н.Е.Гоуф, А.Плянковски - Система управления с прогнозированием для процесса с запаздыванием - с применением адаптивного метода идентификации.....	29
4.2 DK	- Г.Нильсен - Управление систем с запаздыванием по времени .....	31
4.3 BG	- Л.Ат.Гунчев - Аппроксимирующие сигнум-функции при построении квазиоптимальных по быстродействию управляющих устройств.....	32
4.4 USA	- Д.П.Линдорф - Система двухпозиционного регулирования с отклонениями параметров .....	33
4.5 GB	- М.И.МкКанн - Расчет систем управления с ограниченной контрольно-измерительной аппаратурой. Системы для распределенных процессов	34
5.1 SU	- С.А.Анисимов, Н.С.Райбман, Ф.А.Овсепян, О.Ф.Ханш - Некоторые вопросы идентификации сложных объектов .....	35
5.2 F	- А.Ро, Р.Пулиken, Я.Ришале - Входные сигналы повышающие чувствительность и идентификация	36
5.3 F	- М.Менахем - Процесс определения динамики многостепенным методом .....	37
5.4 SF	- Б.Сегерстель - Теория слежения параметров применена к медленно изменяющимся нелинейным системам .....	38
5.5 PL	- Х.Гурецки, А.Турович - Аппроксимационный метод идентификации .....	39
6.1 USA	- Л.Е.Джонс, К.С.Фу - Выбор промежуточной цели и применение заранее заданной информации в самоизучающих системах регулирования .....	40

6.2	SU	- В.А.Якубович - Об одном классе адаптивных /самообучающихся/ систем.....	42
6.3	CS	- Ш.Петрат - Процесс учения с накоплением опыта .....	43
6.4	USA	- Н.Н.Ие, Я.Т.Тоу - Свойство эргодичности и динамические свойства конечных цепей Маркова .....	44
6.5	J	- Бунжи Кондо, Шигеру Энно - Статистический минимально-максимальный метод решения и его применение в узнавании управления .....	45
7.1	SU	- Ф.М.Кириллова, И.А.Полетаева, С.В.Чуракова, Р.Габасов - Управляемость и синтез оптимальных динамических систем .....	46
7.2	PL	- Ч.Олех - Интеграл из функции многозначных и линейные проблемы оптимального управления...	47
7.3	GB	- Й.Ц.Амвригхт - Синтез условий оптимального контроля методом разложения функций .....	48
7.4	PL	- С.Рачыньски - Обозначение зон эмиссии и траектории оптимальных нелинейных систем управления .....	49
7.5	SU	- А.И.Пропой - О многошаговых играх .....	50
8.1	SU	- М.А.Розенблат, М.А.Боярченков - Магнитные адаптивные элементы для систем автоматического управления .....	51
8.2	SU	- Н.П.Васильева - Внешние статические и динамические характеристики вход-выход последовательностных логических элементов .....	53
8.3	SU	- В.Б.Кудрявцев - Устройства первичной обработки информации управляющих машин на принципах квантовой магнитометрии.....	54
8.4	J	- Камекичи Шиба, Тадами Ишиносэ - Обмер удельного веса методом магнитического отталкивания,..	55

II.1	D /GFR/	- П.М.Франк - Общий метод синтеза линейных и нелинейных цепей управления .....	56
II.2	D /GFR/	- К.В.Плессманн - Алгебраический метод ком - пенсации системы следящего регулирования..	58
II.3	D /GFR/	- В.Латзель - Простой метод синтеза импульсного регулирования при помощи логарифми - ческих частотных характеристик.....	59
II.4	D /GFR/	- В.Бекер - Субоптимальное регулирование объектов регулирования высшего порядка с особым учетом свойств универсального фильтра .....	61
II.5	GB	- Р.М.Дейвиз, Т.Г.Ламберт, М.Дж.Эжби - Уменьшение динамических отклонений путем изменения прерывных параметров .....	63
II.6	A	- А.Вейнманн - Новые исследования вопроса квантования в автоматическом регулировании..	65
II.7	USA	- А.Х.Ельтимсаги, Л.Ф.Казде - Оптимальная система отопления .....	66
I2.1	SU	- Л.А.Растригин, В.С.Трахтенберг - Многомерная линейная экстраполяция в задачах оптимально-го проектирования и управления .....	67
I2.2	USA	- Л.Д.Хабеггер, Р.Е.Байлей - Оценка минимальной вариантиности параметров и состояний в ядерных силовых системах .....	68
I2.3	USA	- К.А.Филипсон, С.К.Миттер - Идентификация состояния одного класса линейных систем с распределенными параметрами .....	69
I2.4	J	- Акира Сано, Митсуру Терас - Обмер экстремизации в периодическом процессе оптимального управления .....	70
I2.5	J	- Таками Секигухи - Наблюдаемость линейных динамических измерительных систем и некоторые применения.....	72

I2.6	IND	- К.К.Бандиопаджай, Пр.С.Дасгунта - О вопросах определения параметров приливных каналов .....	73
I3.1	USA	- Д.Х.Чианг, Е.Б.Ли - Вопросы регулирования систем с замедленным действием .....	74
I3.2	PL	- А.Маникус - Оптимальное управление линейными процессами с запаздываниями переменных состояния при квадратичных показателях качества .....	75
I3.3	SF	- А.И.Коиво, С.И.Кане, Г.Н.Коиво - Границы показателя качества и мини-макс регуляторы в системах замедленного действия .....	76
I3.4	USA	- Д.Ф.Банас, А.Ж.Вакру - Оптимальное дискретное управление системы с запаздыванием..	77
I3.5	SU	- А.Б.Куржанский, Ю.С.Осипов - Об оптимальном управлении при ограничениях на фазовые координаты системы .....	78
I3.6	BG	- И.П.Цветанов - Нахождение начальных значений вспомогательных переменных одного класса линейных систем при их оптимальном по быстродействию управлении .....	79
I4.1	H	- А.Борос - Собственные колебания пневматических усилителей мощности и методы их устранения .....	80
I4.2	GB	- Дж.Дж.Хантер - Динамическое поведение гидравлических деталей .....	81
I4.3	GB	- Г.Р.Мартин, А.Лихтарович - Характеристики гидравлических сервомеханизмов с малыми по амплитуде воздействиями .....	82
I4.4	USA	- У.Д.Тайер, Муг Инк - Электрогидравлические неповреждаемые сервомеханизмы.....	83

I4.5 USA	- Е.Л.Хо, А.Инк - Требования к механическим передаточным отношениям установочных вспомогательных приводов с минимизацией времени .....	84
I4.6 D /GDR/	- Р.Мюллер - Опытный метод определения размеров исполнительных элементов /регулирующих вентилей/ для технологических процессов.....	85
I5.1 SU	- А.А.Эфендизаде, Б.А.Листенгарден, С.М.Багиров, Т.А.Заирова, Ю.М.Курдюков - К исследованию динамических режимов управляемых тиристорных электроприводов .....	86
I5.2 SU	- М.З.Хамудханов, Т.С.Камалов, К.Муминов - Система автоматического регулирования режима постоянства абсолютного скольжения асинхронного электропривода с частотным управлением от 87	
I5.3 SU	- В.Н.Леверский, Е.С.Аватков, В.И.Макшанов, Э.М.Алдонин, В.К.Дорохин - К теории следящих приводов с тиристорным частотным управлением К.З. трехфазным асинхронным двигателем .....	88
I5.4 J	- Эйчи Охно, Масахико Акаматсу - Регуляция скорости индукционного двигателя при помощи прямо управляемых тиристорных преобразователей .....	89
I5.5 GB	- Ф.Фальсайд, Р.Д.Джексон - Интегральное цифровое управление привода тиристора постоянного тока .....	90
I5.6 SU	- Д.В.Свечарник, Л.Х.Шидлович, Ю.М.Келим, А.А. Белоглазов - Развитие методов управления индукционными микромашинами .....	91
I5.7 USA	- Шельдон С.Л.Чанг - Переходное отклонение и анализ установившегося режима ступенчатого двигателя.....	92
I5.8 PL	- Е.Овчарек - Синхронный микролектродвигатель нового рода.....	93

15.9 GB	- С.В.Грин, Р.Дж.Паул - Факторы участвующие в анализе и проектировании линейного активатора постоянного тока.....	94
18.1 GB	- Д.Х.Якобсон, Д.К.Майн - Дифференциальное динамическое программирование.....	95
18.2 I	- Серджио де Илис - Оптимизация динамических систем .....	96
18.3 J	- Фумиси Нимида, Сейичи Кизуно - Статистический подход к оптимизации системы управления с многовершинным индексом действия .....	98
18.4 USA	- П.Сарашик, Л.Горвиц - Обзор некоторых итеративных методов определения оптимальных управляющих сигналов .....	99
18.5 USA	- А.Я.Корсак, Р.Э.Ларсон - Доказательство сходимости решения оптимальных задач методом динамического программирования с последовательной аппроксимацией .....	100
19.1 PL	- Идентификация процессов путем минимизации расстояния между совокупностями сигналов....	101
19.2 USA	- Д.Ф.Вильке, В.Р.Перкинс - Проектирование системы ведения модели при применении комплексного преобразования .....	102
19.3 D /GFR/	- Г.Шварце - Определение модели по качественным критериям в пределах времени .....	103
19.4 I	- К.Бруни, А.Исидори, А.Руберти - Порядок и приведение к факторам матрицы импульсных характеристик .....	104
20.1 I	- Дж.Ариенти, Ч.Сутти, Ж.П.Сеге - О численном решении функций Ляпунова .....	105
20.2 USA	- В.Л.Гарард - Устойчивость в конечном времени и синтез систем управления .....	106
20.3 GB	- А.Т.Фуллер - Устойчивость релейных систем автоматического регулирования .....	107

20.4	I	- Эугенио Сарти - Приближенное определение устойчивости нелинейных систем .....	108
20.5	GB	- П.Х.Паркс, А.Дж.Причард - Построение и использование функционалов Ляпунова .....	110
20.6	F	- О.Палусиньски, А.Лоренс, И.Ганврт - Заметки о методе линейных связанных систем...	111
21.1	SU	- Я.З.Цыпкин, Г.К.Кельманс, Л.Е.Эпштейн - Обучающиеся системы управления .....	112
21.2	USA	- М.Г.Гаммонд, Г.Уид - Определение оптимальной последовательности измерений в системе распознавания образов содержащей помехи, с помощью дискретного принципа максимума.....	113
21.3	SU	- Э.М.Браверман, Б.М.Литvakов - Сходимость алгоритмов обучения и адаптации.....	114
21.4	USA	- К.Фукунага, Т.Ф.Криле - Алгоритм оценки и числа ошибочных решений в системе распознавания образов .....	115
21.5	PL	- З.Бубнишки - Распознавание образов методом наименьших интервалов и его применение в системах управления .....	116
21.6	H	- Й.Барат, Г.Мусели - Теоретические и экспериментальные исследования алгоритма распознавания образов использующего метода адаптации структуры .....	117
22.1	B	- Рабочая исследовательская группа ф.П.МС.- Ц.Р.И.Ф. - Сабца - Оптимизация пневматических систем состоящих из элементов с отклоняемой струей, для автоматического управления и вычислительных машин .....	118
22.2	CS	- Милян Бальда - К вопросу о теории пропорциональных струйных усилителей .....	119
22.3	USA	- Ф.К.Б.Лехтинен, П.А.Оринэр - Развитие жидкостного оптимизатора.....	120

22.4	PL	- А.Проневич - Электротермическое преобразование электрических сигналов на пневматические в струйных элементах со свободной струей .....	121
22.5	PL	- Г.И.Лескевич, И.Яцевич, М.Ольшевский - Пневматические, мембранные логические элементы .....	122
25.2	CDN	- Л.К.Ненонен, Б.Палурек - Оптимизация методом сопряженных градиентов в применении к математической модели медного конвертера .....	123
25.3	USA	- Х.Э.Пайк, С.Дж.Ситрэн - Исследование оптимизации печи подогрева слябов .....	125
25.4	GB	- Г.П.Поллард, Р.В.Х.Серджент - Автономный расчет оптимального управления плитовой дистилляционной колонной .....	127
25.5	F	- С.Фуляр - Управление с обучением полуавтоматической дистилляционной колонной.....	129
25.6	CS	- Ч.Денисон - Метод нелинейного цифрового моделирования примененный к динамике газовых турбин .....	130
25.7	SU	- Г.С.Черноруцкий, В.А.Цыганков - Система автоматического управления, оптимизирующая процесс бурения взрывных скважин .....	132
26.1	CS	- В.Петерка, К.Шмук - Оценка параметров разностного уравнения инерционарной системы по экспериментальным данным .....	133
26.2	USA	- Масанас Аоки, Р.М.Стейлей - Синтез входного сигнала при идентификации параметров..	134
26.3	J	- М.Нишимура, К.Фужии, Н.Сузуки - Линейное вычисление параметров процесса и их применение в системе настраиваемого управления..	135

26.4 USA	- К.Г.Оуза, Е.И.Джуэри - Алгоритмы адаптации для проблемы идентификации .....	136
26.5 NL	- А.И.В. ван ден Бoom, И.Х.А.М.Мелис - Сравнение некоторых схем для оценки параметров процесса .....	137
26.6 USA	- Питер К.Янг - Метод инструментальных переменных для идентификации шумовых процессов .....	138
26.7 USA	- Д.А.Висммер, Р.Л.Перайн, И.И.Хеймс - Моделирование и идентификация водонесущего слоя большого размера .....	139
27.1 F	- Эрик Даклен, Жан Поль Перен, Николь Брео, Мишель Денют - Применение регулярных выражений к синтезу секансиельных ассин-кроновых сложных машин .....	141
27.2 D /GDR/	- Х.Й.Цандер - Метод для минимизации числа состояний автоматов с учетом технических особенностей при синхронных и асинхронных режимах .....	142
27.3 SU	- Э.А.Якубайтис - Асинхронная модель конечного автомата .....	143
27.4 PL	- В.Трачык - Полная минимизация числа состояний в асинхронных конечных автоматах....	144
27.5 SU	- М.А.Гаврилов - Эвристические методы структурного синтеза релейных устройств .....	145
27.6 BG	- Д.Б.Шишков - Об одном подходе автоматизации синтеза конечных автоматов .....	146
27.7 F	- Пьер Тисон - Гомоморфизмы и последовательные машины .....	147
27.8 PL	- Рышард С.Михальски - Рспознавание полной или частичной симметрии полностью или частично определенных функций алгебры логики .....	149

28.1	USA	- М.Д.Мисаровиц, Д.Мако, И.Такахара - Два принципа координации и их применение в больших системах управления .....	150
28.2	PL	- Р.Куликовски - Децентрализованная оптимизация больших динамических систем .....	151
28.3	SU	- А.А.Первозванский - Принцип децентрализации при оптимизации сложных систем.....	152
28.4	PL	- А.Страшак - Синтез многоуровневых систем управления .....	153
28.5	SU	- А.И.Кухтенко - О теории управления сложными системами .....	154
29.1	SU	- И.В. Прангивили, В.В.Игнатущенко - Методика построения контрольно-диагностических тестов для универсальных однородных структур .....	155
29.2	SU	- А.Ф.Волков, В.А.Веденченков, В.А.Петров - О построении проверяющих тестов для многоэтапных устройств без элементов памяти.....	156
29.3	SU	- П.П.Лархоменко - Теория вопросников и задачи технической диагностики .....	158
29.4	SU	- А.Л.Гаркави, В.Б.Гоголевский, В.П.Грабовецкий - Влияние периодичности контроля на надежность восстанавливаемых устройств.....	160
29.5	CH	- Д.С.Шеринг - Сравнение качества некоторых цепей экстремального регулирования с заданными величинами воздействия .....	161
29.6	GB	- Т.А.Веселовский Лоу - Надежность и безотказность электро-механического оборудования для автоматического управления турбогенераторами .....	163
29.7	GB	- Сравнение некоторых методов многократного режима работы .....	164

32.1	SU	- М.Д.Климовицкий, В.В.Наумченко А.Б. Челюсткин - Цифровая система слежения за слябами и учета рулонной продукции на непрерывном стане горячей прокатки .....	165
32.2	S	- Е.Ухлен - Автоматизация прокатного стана в Окселозунд Иернверк .....	167
32.3	J	- Акинао Нара, Тсунео Исахая - Управление с помощью вычислительного устройства температурной намотки в горячем листовом прокатном стане - система управления распределенными процессами с помощью динамической модели....	168
32.4	J	- Т.Аrimуra, M.Камата, M.Сaito - Анализ динамического режима последовательно расположенных холодных прокатных станов .....	170
32.5	PL	- Ежи Бромирски, Ян Рострз - Оптимизация процессов резания в случае неполной информации за процессом .....	172
33.1	J	- Нобую Хаяси - По методу корреляционного анализа многомерных систем .....	173
33.2	PL	- М.Кошельник, Ю.Малькевич, С.Трибула - Метод определения передаточных функций энергосистем .....	174
33.3	D /GDR/	- Ф.Х.Ланге, М.Зеха - Теория стохастических ошибок .....	175
33.4	D /GDR/	- Х.Бухта - Метод оценки случайных ошибок при определении корреляционных функций инфразвукочастотных случайных сигналов в системах регулирования.....	176
34.1	J	- Х.Токумаров, Н.Адачи - Управляемость нелинейных систем .....	178
34.2	D /GDR/	- Х.Л.Бурмейстер - Анализ релейных импульсных систем с нелинейным объектом регулирования .....	179

34.3	CDN	- С.Т.Нуджент, Р.Й.Каванагх - Субгармонические колебания в соединенных управляющих системах реле .....	180
34.4	SU	- В.М.Кунцевич, Д.Н.Чеховой - Основы теории нелинейных систем управления с частотной и широтной импульсной модуляцией .....	181
34.5	CDN	- В.Фегиф, Д.П.Афтертон - Анализ нелинейных контрольных систем переменного тока .....	182
35.1	SU	- А.Я.Лернер, А.И.Тейман - Об оптимальном распределении ресурсов .....	183
35.2	SU	- А.А.Воронов, В.Н.Авдийский, С.Е.Ловецкий - К теории управления запасами .....	184
35.3	SU	- О.Г.Чеботарев - Распределение ресурсов в многотемных разработках на основе агрегирования комплекса операций.....	185
35.4	SU	- В.Н.Бурков - Оптимальное управление комплексами операций .....	186
35.5	SU	- М.К.Бабунашвили, С.С.Наумов - Некоторые вопросы контроля и принципы построения оптимальной иерархической структуры управления в системах с определенной целевой функцией .....	187
36.1	SU	- Пьер Форр - Линейные дифференциальные игры с оптимальными стратегиями и принцип разделения .....	188
36.2	USA	- С.Д.Лауренс, Х.С.Спейсиль, Д.Л.Шродер - Кислородный датчик с твердым электролитом...	189
36.3	USA	- Х.Ф.Сторм - Мос-фэт резистор управляемый напряжением .....	190
36.4	GB	- Ф.Л.Н.Наги - Твердые электростатические элементы управления работающие по пьезоэлектрическому принципу .....	191



36.5	GB	- А.Расселл - Точное скоростное управление абсолютного положения применяя многоколей- ную оптическую сетку .....	193
36.6	USA	- Хоркинс Андрю Тракко - Пассивный темпера- турный зонд с сервомеханизмом относительной защиты .....	194
39.1	SU	- Е.Л.Суханов, В.С.Швыдкий, Б.И.Китаев, Ю.Г. Ярошенко, В.Н.Овчинников, В.Г.Лисиенко -- Рациональный алгоритм управления тепловым состоянием доменной печи с использованием информационно-управляющих машин .....	196
39.2	PL	- А.Госевски, А.Вежбицки - Динамическая оп- тимизация сталелитейного процесса в дуговой печи .....	197
39.3	NL	- Х.Квакернаак, П.Тейссен, Р.Стрейбос - Оп- тимальная эксплуатация доменных печей .....	198
39.4	GB	- А.И.Байлай, Г.К.Холлинвортс, И.Еремях К.Биндинг - Употребление управления вы- числительными машинами плетизональной наг- ревающей топки .....	199
39.5	GB	- И.В.Бистон - Замкнутая система управления подвешенным грузом с оптимизацией времени- исследование конструкции .....	201
39.6	PL	- Р.Гурецки - Временно субоптимальное управ- ление работой кранов с подробным учетом прак- тической реализации .....	203
39.7	R	- Комплексная автоматизация технологической линии: доменная печь - агломерационная лента- склад сырья металлургического комбината в Га- лати с применением цифровой вычислительной машины .....	204
40.1	J	- Йн-иши Баба, Шигео Хаяши, Каору Ишида - Линей- ное управление напряжения и реактивное переме- щение мощности в системе электрической энергии..	205

40.2	GB	- Дж.Х.Озборн, М.Ф.Делахунты, П.Р. Маддок,	
		С.Аарс - Конструкция, заводские и перво-	
		начальные испытания на месте системы управ-	
		ления и контрольно-измерительной аппаратуры	
		тепловой электростанции .....	206
40.3	USA	- Н.П.Косорок - Рабочая программа для прог-	
		граммного управления ядерным реактором .....	207
40.4	F	- Й.С.Жакен, С.Леруа, Р.Левек, Ж.Тома, Ж.С.	
		Бедиу - Автоматическое управление объек-	
		том с помощью вычислительных цифровых машин.	
		.....	208
40.5	GB	- Ф.Моран, Дж.Н.Прюэтт - Попытка автомати-	
		ческого управления производством электроэнер-	
		гии при питании ограниченного участка сети	
		снабжения Ц.Э.Г.Б. .....	209
40.6	USA	- И.Премингер, Дж.Парк - Анализ динамической	
		устойчивости энергетической системы, подверг-	
		нутой детерминистическим изменением нагрузки..	210
40.7	CH	- Настраиваемое регулирование объединенных	
		электросетей .....	211
4I.2	F	- С.Лефевр, А.Ро - $M_2$ - устойчивость парамет-	
		рических систем .....	212
4I.3	SU	- Е.П.Попов, Е.И.Хлыпало - Развитие метода	
		гармонической линеаризации .....	213
4I.4	PL	- Я.Кудревич - Теоремы об существовании пе-	
		риодических решений возникающие из метода	
		описывающей функции .....	214
4I.5	USA	- Р.Г.Си, А.Г.Вакроус - Анализ установившего-	
		ся состояния нелинейных систем и гармоничес-	
		кая функция с многими входными переменными...	215
4I.6	IND	- Р.К.Раджагопалан, Яш Лаль Синг - Анализ	
		гармонических и почти периодических колеба-	
		ний в возбужденных регенеративных системах...	217

41.7 USA	- Андрю У.Майер - Расчет областей начальных состояний систем стабилизации с помощью частотных критериев .....	218
<u>42.1</u>	<u>USA</u> - В.Финдайзен, И.Лефкович - Конструкция и применение многоступенчатого автоматического управления .....	219
42.2 USA	- Р.К.Баттачария, Е.С.Багары, А.Н.Бакру - Ступенчатая оптимизация системы продукции применяя раздельный вариант максимального принципа Понтрягина .....	220
42.3 GB	- Г.Г.Джонсон - Явление и эффект потери информации в иерархической системе цифровых вычислительных машин предусматривающей управление процессами в истинном масштабе времени...	221
42.4 SU	- А.П.Копелович, А.А.Белостоцкий, Б.А.Власрук, Г.И.Никитин, В.М.Храпкин - Системы и алгоритмы управления для сложного комплекса металлургического производства .....	223
42.5 GB	- Дэх.Хеихурст - Подход к автоматическим системам производств партии .....	225
42.6 GB	- Б.Б.Хиклинг - Применение вычислительной техники в организации управления на сталелитейных заводах .....	226
43.1 SU	- Б.Н.Петров, Н.П.Колпакова, В.А.Васильев, А.И.Павленко - Некоторые вопросы синтеза структур систем управления пространственным движением орбитального самолета в атмосфере земли .....	227
43.2 USA	- Томас Муртаф - Оптимальные межпланетные графики среднекурсовых корректировок скоростей...	229
43.3 SU	- В.М.Пономарев, В.И.Городецкий - Оптимальные параметрические законы управления снижением космического аппарата .....	230

43.4	SU	- А.Г.Власов, И.С.Уколов, Э.И.Митрошин - Стохастическая оптимизация управления спуском космического аппарата в атмосфере .....	231
43.5	SU	- Д.Е.Охочимский, А.П.Бухаркина, В.Ф.Голубев - Управление движением при входе в атмосферу .....	233
43.6	SU	- Ю.П.Плотников - Стохастические задачи ракетодинамики .....	234
43.7	SU	- А.Я.Андренко - Статистический синтез оптимальных импульсных систем управления космических объектов с учетом ограничений по структуре системы .....	235
43.8	SU	- А.А.Лебедев, М.Н.Красильщиков, В.В.Малышев - Оптимальная система управления орбитой стационарного искусственного спутника Земли....	236
46.1	DK	- С.Бай Йоргенсен и М.Киммел - Моделирование разделимых систем в химической промышленности .....	237
46.2	D /GFR/	- Э.Д.Гиллес, Б.Любек, М.Зейц - Модели и моделирование каталитических реакторов и неподвижным катализатором .....	239
46.3	J	- Кэйсуке Изава, Хироши Окамото - Система за оптимальним режимом гидрогенизации .....	240
46.4	CS	- Л.Шутек, Б.Франкович - Алгоритм управления производства мочевины .....	241
46.5	CS	- З.Бурианец, И.Буриanova, М.Грушка, А.Сихровски - Теоретические основания алгоритма управления процессом синтеза аммиака .....	242
46.6	SU	- Р.Таваст, Л.Мытус - Адаптивная система ЦВМ-человек для управления химическим процессом..	243
47.1	GB	- Р.Л.Карстейрс, Б.Х.Бикерс - Определение устойчивости аксиальной формы нейтронного потока в пространстве у охлаждаемого газом энер-	

	гетического реактора с входящим потоком теплonoсителя и автоматическим регулированием мощности .....	244
47.2 D /GTR/	- Р.Айзерманн - Математические модели динамического свойства паронагреванных теплоизменников регулированных на паровой или конденсатной части.....	246
47.3 I	- Е.Козимо, С.Петрарка - Тепловые функции переноса для полого цилиндра с генерацией тепла .....	247
47.4 F	- Г.Давуст - Определение динамики теплообменников исходя из их структурных характеристик.	248
47.5 A	- Герберт Д.Айгнер - К вопросу о динамике передачи тепла по трубопроводам и каналам с применением газов в качестве теплоносителя.....	249
47.6 J	- Масами Мацуучи - Динамические реакции в теплообменниках поперечного проплива.....	250
48.1 SU	- С.В.Емельянов, Н.Е.Костылева, В.И.Уткин - Системы с переменной структурой в задачах идентификации и управления многомерными объектами .....	251
48.2 YU	- М.Вукопратович, Р.С.Рутман - Структурные свойства динамических систем .....	252
48.3 RA	- Армандо Фагоупе - Усовершенствование метода передаточных функций управления типа - Т / ПФУ-Т/ для многосвязных систем управления..	253
48.4 SU	- В.В.Величенко - К проблеме синтеза инвариантных систем .....	254
48.5 USA	- Фред Э.Тай - Оптимальное управление классом случайно-возбужденных систем с распределенными параметрами .....	255
49.1 SU	- Н.А.Бабаков, Д.П.Ким - Об условиях управляемости в одной задаче преследования.....	256

49.2 SU	- В.Н.Сошников, Г.И.Уланов - Динамика перемещения космонавта к кораблю с помощью тросса и принцип синтеза управления кораблем , основанный на теории систем с переменной структурой .....	257
49.3 USA	- Пинг Тченг, Джэмз В.Мур - Измерение сил и моментов из напорно-векторной ракеты на проверочной стоянке, составленной из пяти компонентов .....	258
49.4 USA	- М.Виттлер, К.Н.Шэн - Оптимальная по времени подача ядерного ракетного топлива при ограничениях термического напряжения, базирующаяся на модели с распределенными параметрами .....	259
49.5 USA	- Дж.А.Рэлф, Г.Дж.Беллейми - Синтезатор системы обработки данных космического летательного аппарата .....	261
49.6 D /GFR/	- И.Люкел - Субоптимальное регулирование систем 2-го порядка с коэффициентами, зависящими от времени .....	263
50.1 J	- Ивао Моришита - Динамическое поведение линейного элемента порога с саморегулирующимися весами .....	264
50.2 CDN	- Дж.С.Риорден - Самонастраивающийся регулятор автомата для дискретно-временных процессов Маркова .....	265
50.3 GB	- А.Л.Джонс, Н.Бак, Д.П.МакЛуд, Н.Бак - Согласованный цифровой регулятор технологических процессов .....	266
50.4 D /GFR/	- В.Шпет - Легко осуществимый метод быстрой адаптации регуляторов в технике приводов....	268
50.5 SU	- Д.Я.Свет - О самонастраивающихся системах измерения истинных температур в оптическом диапазоне .....	269

50.6	PL	- Зд.Барски - Самонастраивающаяся система автоматического регулирования температуры и влажности на объектах кондиционирования воздуха .....	270
53.1	SU	- В.И.Иваненко, Д.В.Караченец - Задачи статистического синтеза системы автоматической оптимизации массообменных установок .....	271
53.2	USA	- Г.Л.Уейд, К.Х.Джонс, Т.Б.Руней, Л.Б.Ивенс - Управление циклической дистилляцией.....	272
53.3	NL	- А.Маарлевельд, И.Е.Рийнсдорп - Экстремальное регулирование работы перегонных колонн..	273
53.4	I	- Ф.де Лоренцо, Г.Гуардабасси, А.Локателли, В.Николо, С.Ринальди - Применение метода трехпозиционного воздействия типа плюс, минус, нуль /"Банг-Банг"/ для оптимизации двухкомпонентной дистиляционной колонны.....	275
53.5	F	- Ж.Борнар, Ж.Дюшатель, Й.А.Мелленек, Б.Семр- Цифровое управление с предикцией и с обратной связью промышленной дистиляционной колонной .....	276
53.6	SU	- Е.Г.Дудников, Г.П.Майков, Н.С.Иванов - Математическая модель и оптимизация процесса поликонденсации феноло-формальдегидных смол..	278
53.7	USA	- Л.А.Гольд, Л.В.Ивенс, Х.Курихара - Оптимальное управление жидкостным каталитическим крекинг-процессом .....	280
54.1	PL	- М.Дуда, М.Плюцинска-Кляве, Я.Раковски, С.Ваглевски - Исследования систем регулирования энергетического блока 200 мвт при использовании аналоговой и цифровой моделей.....	281
54.2	F	- Г.Алтер, Ж.Ф. Ле Корр, Р.Мезенцев, У.Тома - Оптимальное управление котлом.....	282

54.3	J	- К.Итох, М.Фужий, Х.Охно, К.Сагара - Сравнение динамики котла с натуральной циркуляцией и котла с вынужденной циркуляцией...	283
54.4	D /GFR/	- Х.Унбехауен, П.Некер - Оптимальное управление температурой многосвязной системы управления "Однопроходного котла" при быстрых изменениях нагрузки.....	285
54.5	PL	- К.Тарамина - Алгоритм оптимального регулирования избытка воздуха в топочных камерах паровых котлов, стапливаемых твердым топливом .....	286
54.6	CS	- Б.Гануш - Испытания управления блоком котель-турбина с помощью цифровой управляющей машины .....	287
54.7	USA	- Т.Жирас, Р.Юрам - Применение техники цифрового управления в электростанциях .....	288
55.1	F	- Ф.Вестфрид - Анализ нелинейностей в общем законе дорожного движения .....	289
55.2	GB	- И.А.Гилиер - Регулировка смежных светофоров для минимизации задержек .....	290
55.3	SU	- Л.Д.Атабегов, Х.Б.Кордонский, В.К.Линис, Ю.М.Парамонов, О.Р.Фролов - Алгоритмы составления плана движения пассажирских самолетов и их оперативная корректировка .....	291
55.4	GB	- Д.Ф.Хейнс - Применение метода оптимизации для разрешения проблемы перехода в вертолетах .....	292
55.5	D /GFR/	- Д.Букс, Г.Швейцер, Г.Сеельманн - Цифровое управление для самолетов с изменяющимися летными характеристиками.....	294
55.6	J	- И.Охтсу, Т.Фукино, М.Итох, Х.Охно, К.Учино - Опыты на опытном водолете с гибридной системой платов и автопилотом .....	295

55.7	USA	- Гарри Натан Ягода - Динамическое регулирование автомобильного движения у въезда на автостраду .....	296
56.1	F	- Пьер Фор - Линейные дифференциальные игры с совершенно оптимальными стратегиями и принципом сепарации .....	297
56.2	USA	- Т.Дж.Тэрн - Стохастическое оптимальное управление с частично известными возмущениями..	298
56.3	J	- Иошифуми Сунахара - Приблизительный метод определенной оценки и управления для нелинейных динамических систем наблюдаемых в шумных условиях .....	299
56.4	SU	- А.А.Клементьев, Е.П.Маслов, А.М.Петровский , А.И.Яшин - Управление стохастическими процессами при регулируемой длительности интервала контроля .....	300
56.5	CDN	- И.Г.Гамминг - Синтез стохастических контролльных систем непрерывного времени.....	301
56.6	USA	- Р.Д.Бэн, И.Ц.Хо - Характеристика стохастических игр типа погоня-маневрирование .....	302
56.7	USA	- Х.С.Витсанхаузен - Неравенства для характеристик субоптимальных нестационарных систем..	303
57.1	SU	- В.А.Бесекерский, В.Г.Гордеев, Я.Г.Остромухов - Теория двухроторной гироорбиты .....	304
57.2	SU	- Э.В.Гаушус - Исследование сложных автоколебаний космических аппаратов .....	305
57.3	SU	- В.И.Попов, В.Д.Рутковский - Исследование динамики системы предварительного успокоения гравитационно-устойчивого спутника с учетом ограничений датчиков и изгибных колебаний стабилизатора.....	306
57.4	D /GFR/	- Г.Родерер, Г.Зеельманн, Г.Войчелла - Двухосное ориентирование в пространстве врачающейся	

	- головной части ракеты-носителя стабилизированной вращением .....	307
57.5 SU	- Д.П.Гуськов, С.В.Бунякин - Управление маневром поворота плоскости круговой орбиты спутника, обеспечивающее прохождение спутника через заданную точку .....	309
57.6 USA	- Э.Джордж Смис - О синтезе гирескопа с управляемым моментом внедренном в системе управления положением в пространстве космического летательного аппарата .....	310
57.7 USA	- В.Л.Джеррард - О синтезе субоптимальных, с инерционным колесом, систем управления положением в пространстве.....	311
57.8 SU	- Е.А.Федосов, А.М.Батков, В.Ф.Левитин, В.А. Скрипкин - Общие вопросы теории наведения.	312
60.1 MEX	- Пауль Алпер, Питер Эрмитедж - Уместность теории управления в учебной регистрации.....	313
60.2 USA	- И.Франсис Рэнтье - Использование цифровых вычислительных машин с многократным доступом для заведования профессиональной литературой.	314
60.3 J	- Т.Такаматсу, И.Савараги, М.Наито, И.Акаги, И.Хашимото, И.Икeda, К.Кавата, Т.Мизогучи - Система управления вычислительной машиной для загрязнения воздуха .....	316
60.4 CDN	- А.Р.М.Ноутон - Динамически оптимизированная финансовая и валютная политика для управления народным хозяйством .....	318
60.5 USA	- Ральф Р.Дерш - Проектирование информационных систем для управленческих нужд .....	319
61.1 CDN	- Эдвард Дэвисон - Неминимальный фазовый индекс и его применение к взаимодействующим системам управления со многими переменными.....	321

61.2	F	- Д.Маршанд, М.Менахэм - О алгебраическом, многомерном критерии дэмпфирования. Развитие критерия Наслина.....	322
61.3	GB	- А.Г.И.Макфарлен, Н.Мурро - Употребление обобщенных кругов Мора в переменных регуляторах .....	323
61.4	H	- Я.Джюрки - Метод преобразования координат для целей анализа и синтеза многомерных систем управления с помощью цифровой вычислительной машины .....	324
61.5	GB	- Н.А.Баркер, А.Хепбурн - Метод прямого цифрового управления при весовых функциях.....	325
62.1	SU	- В.А.Боднер, К.Б.Алексеев, Р.А.Закиров - К синтезу оптимальных систем управления с учетом заданной надежности.....	326
62.3	N	- Оле А.Сольгейм, Фредди Погнер - Оптимальное управление класса дискретных систем.....	327
62.4	A	- Иоханнес Моик - Оптимальное управление нелинейными импульсными системами.....	328
62.5	PL	- К.Курман - Цепные модели как безинерционные оптимальные регуляторы объектов большой размерности .....	329
63.1	SU	- Б.Н.Петров, В.В.Петров, Г.М.Уланов, В.М.Агееев, А.В.Запорожец, А.С.Усков, И.Д.Кочубеевский - Начало информационной теории управления.....	330
63.2	CH	- И.Э.Гандшин - Методы Монте-Карло для предсказания и слаживания нелинейных стохастических процессов .....	331
63.3	E	- Введение в методику стохастических многоканальных вычислений и в вопросы регулирования.....	332

63.4 SU	- В.В.Соловьев, В.Л.Ленский - Корректность, регуляризация и принципы минимальной сложности в статистической динамике систем автоматического управления .....	334
63.5 USA	- В.Г.Кеклер, Р.Э.Лерсан - Вычисление оптимального управления автоматом при частично неизвестной окружающей среде .....	335
63.6 PL	- Йльюш Лех Куликовски - Статистические проблемы движения информации в больших системах управления .....	337
64.1 SU	- В.М.Глушков, В.П.Деркач, Г.Т.Макаров - Об одной системе автоматического управления процессами изготовления микросхем.....	338
64.2 J	- И.Ошита, Б.С.Янг - Микро-диаграммная позиционная система .....	339
64.3 CH	- Г.Бюлер - Исследование выпрямительных цепей регулирования в качестве импульсных систем.....	340
64.4 SU	- Е.К.Круг, Е.А.Легович - Быстро действующие системы управления с частотными датчиками..	342
64.5 USA	- Д.Т.Шмидт - Оптимальное калибрование инерционных составляющих .....	343
66.2 USA	- Г.Часу, В.Викстром - Усовершенствование динамического управления цветом в бумажной машине .....	344
66.3 USA	- И.К.Ли, И.Б.Санборн, Х.Л.Гарисон, Х.Хао, И.Г.Боллингер - Проект системы автоматического управления напорным ящиком бумагоделательной машины .....	345
66.4 GB	- Р.М.Дж.Висерс, Р.Дж.Бэсс - Математическая модель эксплуатации и управления завода переработки сахарной свеклы .....	346

66.5	PL	- В.Финдейсен, Е.Пулачевский, А.Манитюс - Многоуровневая оптимизация и динамическая координация процессом протекания масс в от- делах сырой массы сахарных заводов.....	347
66.6	J	- Тсунаэ Отомо, Тоичиро Накагава - Примене- ние управления вычислительной машиной в це- ментной вращающейся печке через анализиро- вание данных .....	348
66.7	SF	- Т.Талонен, Оутокумпу Ои, Коккола, А.Ниеми,- Моделирование процесса плавки пирита.....	349
67.1	SU	- М.В.Мееров, Р.Т.Янушевский - Синтез много- связных систем управления .....	350
67.2	GB	- Д.Митра - Понижение сложности линейных, неизменяющихся во времени динамических сис- тем .....	351
67.3	USA	- Дж.А.Плэнчард, В.Дж.Лоу - Применение тео- рии автономного управления в непрерывной многомерной системе .....	353
67.4	CH	- В.Кремер - Предложения по разработке кон- цепции простых связывающих схем и развязы- вающих элементов для линейного двухпозицион- ного регулирования и правила настройки.....	355
67.5	I	- Е.Бисонди, Л.Дивизти, Ц.Роведа, Р.Шмид - О оптимальном использовании дискретных линей- ных систем с многими переменными .....	356
68.1	J	- И.Савараги, К.Иноуэ, Т.Охки - Синтез чувст- вительности оптимального управления во время перемены порядка системы.....	357
68.2	PL	- А.Вежбицки - Унифицированный подход к ана- лизу чувствительности систем управления.....	358
68.3	SU	- А.А.Красовский - Новые методы аналитическо- го конструирования систем управления.....	359

68.4 R	- Линейные и нелинейные оптимальные решения и структуры в задаче Летова и Калмана по оптимальному синтезу линейных объектов. к боля	361
68.5 USA	- И.Саннути, П.Кокотович - Метод единичного возмущения для почти оптимального синтеза нелинейных систем высокого порядка.....	362
68.6 D /GFR/	- Г.Шмидт, Ф.Фишер-Уриг - Оптимальные по времени законы регулирования для систем второго порядка с периодическим усилием возврата....	363
68.7 USA	- Жеральд Кук - Метод аппроксимации в проблеме единичного управления.....	364
69.1 USA	- Г.Н.Саридис, Г.Стайн - Об одном способе параметр - адаптивного управления .....	365
69.2 NL	- Х.Фейкема, Х.Б.Вербрюгген - Проектирование адаптивных систем управления с моделью при использовании метода Ляпунова и метода обратной описывающей функции .....	366
69.3 USA	- В.С.Ливайди - Нелинейная фильтрация и метод наименьших квадратов - распространение и применение теории квазилинеаризации .....	367
69.4 D /GFR/	- Ф.Шнайдер - Настройка адаптивного регулирования процессов с помощью цифровой вычислительной машины .....	368
69.5 F	- Г.Г.Жакоб, Ц.Мира - Система экстремального регулирования с экстраполяцией.....	370
69.6 GB	- О.Л.Р.Джекобс, С.М.Ленгрон - Оптимальная экстремальная система управления.....	372
69.7 SU	- А.Г.Ивахненко, Н.В.Хрущёва, В.И.Несходовский- Самоорганизация систем экстремального управления.....	373
70.1 D /GFR/.	- Г.Воссиус, Ю.Вернер - Функциональный конт - роль следящего движения глаз и его цифровое моделирование .....	374

70.2	SU	- М.А.Айзerman, Е.А.Андреева - Простейший поисковый механизм управления мышечной активностью .....	375
70.3	NL	- А. ван Лутерен, Х.Г.Стассен - Оценка параметров человеческой передачи в системе "человек-велосипед" во время измерения.....	376
70.4	USA	- А. ван Лутерен, Х.Г.Стассен - Текущая оценка параметров переходной функции человека в системе человек-велосипед.....	377
70.5	USA	- Р.Э.Мэгдалено, Д.Т.Мак Руэр - Истолкование регулирования силовых возмущения и колебания данных в замкнутой нервно-мышечной системе .....	378
70.6	GB	- С.Д.Бар, Э.Р.Карсон, Л.Финкельштейн, Э.А. Джонс - Исследование динамики обмена протеинов в плазме .....	380
70.7	USA	- Б.Л.Зьюбер - Глазодвигательная динамика объекта: электромиографические и переходные характеристики у кота.....	381

M.S.Beck, P.R.Birch, N.E.Gough, A. Plaskowski

Система управления с прогнозированием для процесса  
с запаздыванием - с применением адаптационного  
метода идентификации

Эта статья описывает применение прогнозирующей системы управления с обратной связью а также прогнозирование в масштабе пилотной установки с запаздыванием - с применением вычислительной машины с целью управления. Этот процесс является представителем такой группы процессов, в которой запаздывание затрудняет аккуратный контроль, когда применяется только замкнутую систему управления. Применено критерий качества, который принимает во внимание экономические эффекты а также безопасность ведения процесса. Адаптационная процедура поиска экстремума оптимизирует качество представленной модели - без запаздывания. Сигнал оптимального управления хранен в памяти через время запаздывания. Исследовано изменение процедуры оптимализации а также доказано, что сходимость итерационной процедуры для короткого срока вычислений в достаточном малой степени зависит от ряда системы.

Система управления с прогнозированием обходит проблему устойчивости, выступающую при применению управления с обратной связью - здесь обратную связь применяется только для коррекции дрейфа. Вычислительное устройство определяет значения для цепи обратной связи и периодически - управляемость процесса.

Удобство метода заключается в том, что модель может быть в полне определенный через импульсную характеристику. Дискретные точки этой характеристики хранится в памяти машины и в соответственных сроках выводится из неё. Объект тестируется псевдослучайным двоичным сигналом и вычисляется функцию взаимной корреляции или применяется метод адаптации. В адаптационном методе некоторые первичные информации о динамике процесса применяется как исходный модель. Этот исходный модель адаптируется до сих пор, пока не получится требованной точности модели.

От вычислительного устройства требуется для основной системы с обратной связью, прогнозированием и с корреляционной идентификацией приблизительно 3.700 слов памяти и с 12 по 25 миллисекунд времени на один цикл вычислений, плюс 2 секунды, когда выступает идентификация.

## УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ ПО ВРЕМЕНИ

Гуннар Нильсен

lic. techn.

Servolaboratoriet, Danmarks tekniske Højskole

Управление систем с запаздыванием по времени это важная проблема. Было опубликовано несколько методов такого управления но очень мало говорилось о практических результатах использования этих методов.

В этом докладе приводятся результаты сравнения этих методов. Сравнение производится по количественному принципу используя показатель IAE. Полученный вариант управления обсуждается в отношении как задающего воздействия так и шагового изменения нагрузки. Результаты приводятся в виде функции относительного запаздывания т.е. в виде отношения запаздывания к сумме запаздывания и постоянных времени. Среди обсуждаемых методов находятся пропорциональное, изодромное и PID управление, импульсное управление, управление по схеме с линейным предсказыванием Смита, а также по схемам с прямой связью.

# АППРОКСИМИРУЮЩИЕ СИГНУМ-ФУНКЦИИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КВАЗИОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Л. Ат. Гунчев

Висш машинно-електротехнически институт, София

Рассматривается вопрос об аппроксимации управляющей функции, полученной в результате решения задачи синтеза оптимального по быстродействию управления. Показана возможность синтеза квазиоптимального управляющего воздействия линейного объекта при помощи эквивалентных сигнум-функций. Предложены эквивалентные аппроксимирующие функции и определены эквивалентные реализующие функции в классе наиболее удобных для технического построения функций.

Методом эквивалентных сигнум-функций показана возможность построения квазиоптимальных управляющих устройств путем использования лишь линейных и релейных элементов. Этим методом можно определить структуру и параметры квазиоптимального управляющего устройства. Полученные экспериментальные результаты подтверждают эффективность метода эквивалентных сигнум-функций.

## СИСТЕМА ДВУХПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ОТКЛОНЕНИЯМИ ПАРАМЕТРОВ

Д.П. Линдорф  
Университет штата Коннектикут  
Сторрс, штат Коннектикут, США

Применен двухпозиционный регулятор для моделирования поведения объекта регулирования. Принято при этом во внимание влияние погрешности параметров. Если применить функцию Ляпунова, которая является полуопределенной, тогда становится возможным рассматривание объектов регулирования, которые имеют многократное отражение, или, вообще, имеют переменные состояния, которые не являются обязательно фазовыми переменными. Показано, что отклонения между моделью и действительной системой ограничены, если известны пределы отклонений параметров. Метод был применен для решения специальной проблемы регулирования, при котором объект регулирования является неустойчивым.

РАСЧЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ОГРАНИЧЕННОЙ  
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРОЙ

СИСТЕМЫ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

M.J. McCann,  
Imperial Chemical Industries Ltd.  
Wilmslow, Cheshire - Англия.

Ввиду того, что теория оптимального регулирования распределенными процессами приводит к проблемам чрезвычайно сложного решения, требуется другой вариант подхода. В статье излагается метод, который может дать расчеты как линейного, так и релейного (Вкл-Выкл) управления линейно-распределенными процессами, которые подвергаются распределенным флуктуациям. Расчеты предназначаются для разработки систем управления процессами с чрезвычайно ограниченной контрольно-измерительной аппаратурой. Метод требует, в любом применении, наличия возможностей моделирования распределенных процессов, где дается представление не только общего характера (ввод-вывод), но и внутренние режимы работы. Данный способ является методом поиска и регулирования, который может программироваться, но достаточно прост для более легкого выполнения потребителем.

С.А.Анисимов

Москва, СССР

Ф.А.Овселян

Ереван, СССР

Н.С.Райбман

Москва, СССР

О.Ф.Ханиш

Прага, Чехословакия

### Некоторые вопросы идентификации сложных объектов.

Для сложных объектов вид уравнения объекта априори неизвестен, в связи с чем возникает ряд дополнительных задач идентификации. К этим задачам относятся определение характеристики связи между входными и выходными переменными, количественная оценка степени изоморфности модели объекту - оригиналу и степени нелинейности, определение вида уравнения объекта и др. Основное внимание в докладе уделяется статистическим методам идентификации по данным нормального функционирования объекта. Рассматриваются 4 вида объектов в соответствии с тем, что вход, а также сам оператор могут быть случайными или детерминированными. Устанавливается связь между методами исследования всех видов объектов.

## ВХОДНЫЕ СИГНАЛЫ ПОВЫШАЮЩИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

А. Ро, Р. Пуликен, Я. Ришале

Идентификация систем методом моделей ведет к минимизации функционала структурных параметров представляющего дистанцию между идентифицированной системой а искомой моделью. Это может быть дистанция по структуре или дистанция по состоянию. Доказывается что в первом случае идентификация сводится к определению законов изменения в пространстве параметров. Во втором случае идентификация сводится к простой задаче параметрической оптимизации. Одновременно доказывается что точность идентификации зависит от формы изометрических поверхностей ошибки т.е. от чувствительности по параметрам.

Таким образом показана связь существующая между идентификацией параметров и чувствительностью. В дальнейшем вводится показатель чувствительности. Этот показатель является мерой распределения информации. Он позволяет определить входные сигналы, которые изометрическим поверхностям придают шарообразный характер распределяя эту информацию равномерно по всем параметрам, или найти входные сигналы повышающие чувствительность сосредоточивая эту информацию по одному заданному параметру.

Преимущество такого подхода к вопросу идентификации состоит в том, что он позволяет определить количественную меру идентификации и составить программу испытаний.

# ПРОЦЕСС ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИКИ МНОГОСТЕПЕННЫМ МЕТОДОМ

М.Менахем

Союзете Контроль Байле, 32, бульвар Генриха IV

Париж 4<sup>0</sup>

Франция

Проверка переходной характеристики является практическим методом широко используемым для процесса определения динамики вследствие его простоты и быстроты в достижении результатов. Но во многих случаях внешние помехи портят наблюдаемый сигнал, и возникает необходимость повторить опыт несколько раз для того, чтобы получить определенные результаты. Это влечет за собой увеличение времени проверки и уменьшает пригодность метода. В данном сообщении предлагается развитие метода переходной характеристики в многостепенный метод. Определяющий сигнал является результатом степеней применяемых к входу с частотой более высокой, чем  $1/T_0$  /где  $T_0$  является определенной памятью времени системы/. Главное преимущество метода это то, что в течение определенного времени можно будет извлечь большее информации из наблюдаемого сигнала, чем до сих пор.

Автор анализирует процесс исчисления /выражающейся в переходной характеристике ступенчатой функции, которая показана на примере выбранных материалов/, и показывает как выбор специфических связей упрощает исчисление. И действительно, не требуется инверсии матриц, и, в то же самое время любая длина  $T_0$ , извлеченная из наблюдаемого сигнала, даст результат /более или менее испорченный шумом/.

Теория слежения параметров применена к медленно изменяющимся нелинейным системам

Борис Сегертель

Лаборатория Автоматического Управления  
Технический Университет, Хельсинки, Финляндия

Случайная /стохастическая/ система определена при помощи ряда функции плотности. Для этой системы формулирована проблема слежения по Баесу, и дано её решение в виде рекурсивного алгоритма. В общем случае такой алгоритм требует сравнительно сложных вычислений.

Как частный случай будет рассмотрена точно наблюдаемая линейная система Гаусса-Маркова, для которой для решения алгоритма достаточно исчисления матриц. Для решения существенно чтобы система была точно наблюдаемая, ибо это вероятно единственный случай в котором можно избежать влияние случайных величин.

Этот метод применимый для нелинейных систем в которых изменения в амплитуде сигнала настолько медленны что можно провести их линеаризацию в коротких отрезках времени. Это дает возможность рассматривать результаты нелинейности как вызванные изменениями значения параметра линеаризованной системы.

Как примеры исследованы симулированные характеристики слежения системы насыщения а также системы с показательной нелинейностью.

Результаты удовлетворительны.

Х.Гурецки

А.Турович

### Аппроксимационный метод идентификации

В докладе представляется аппроксимационный метод в пространстве  $L$  для идентификации объектов управления. Используется теоремы Штейнхуса, Маркова и Соболева. В случае функции  $f(x)$  одной переменной предполагается что в классе полиномов не выше  $n$ -той степени существует полином  $P_n(x)$  о следующих свойствах:

$$1^0 : \int_a^b |f(x) - P_n(x)| dx = \min$$

2<sup>0</sup> : разность  $f(x) - P_n(x)$  изменяет знак в интервале  $[a, b]$  точно  $(n+1)$  раз ; тогда можно доказать что перемены знаков происходят в нулях полинома Чебышева  $T_{n+1}(x) = \cos[(n+1) \arccos x]$

Благодаря этому достаточно определить функцию  $f(x)$  только в этих точках.

В случае выпуклой функции "n" переменных выведено условия оптимальной линейной аппроксимации в пространстве  $L$ .

Л.Е.Джонс  
Система обучения дипломиро-  
ванных инженеров  
Генезис  
Университет Флорида  
Порт Канавераль, Флорида

К.С. Фу  
Школа Электрического машино -  
строения  
Университет Пурдю  
Лафает, Индиана

### Выбор промежуточной цели и применение заранее заданной информации в самоизучающих системах регулирования.

Для проектирования систем управления, которые учатся функционировать в неизвестных или частично известных окрестностях были предложены многочисленны методы. Большинство самоизучающих схем является совершенно отличным от методов использующих непрерывную корректировку параметров, которые были созданы во время раннего развития систем анализа моделей.

Основными научными вкладами в эту область были модели автоматических регуляторов и алгоритмы. Разрабатывая эти модели, представляют системы в так отвлеченной форме, что они довольно часто теряют связь с практическими соображениями.

Целью этой статьи является представление некоторых результатов полученных в теории самоизучающего регулирования также пересмотр некоторых практических вопросов связанных с применением самоизучающих регуляторов для решения конкретной проблемы.

Эта статья определяет промежуточную цель – как подчиненную основной цели т.е. минимизации показателя качества. Каждое решение должно быть оценено в следующем промежутке регулировки, после его введения. Задачей промежуточной цели является выбор такой промежуточной цели, которая направит процесс изучения к экстремуму, так как этого требует заданный показатель качества. Дано аналитическое решение и его обобщение. Этот обобщенный метод использует ранее заданные информации касающиеся завода.

Рассматриваются еще два дальних вопроса, а именно: при-

меняется фиксирована сетка для разделения пространства состояний на отдельные участки регулировки, и предложен и рассмотрен метод расширения этой сетки. Регулятор инициирован при использовании заранее заданной информации. Симуляция в натуральном масштабе, что предложенный метод избирания промежуточной цели, расширения постоянной сетки и инициирования регулятора, являются улучшениями по сравнению с предыдущими методами.

ОБ ОДНОМ КЛАССЕ АДАПТИВНЫХ (САМООБУЧАЮЩИХСЯ) СИСТЕМ.

Якубович В.А.

Ленинградский Государственный Университет

Ленинград

СССР

В докладе приводится точная, формализованная постановка простейшего варианта задачи построения по заданному классу условиям адаптивной системы, которая адаптируется к любым условиям этого класса. Приводятся решение этой задачи и результаты моделирования на ЭВМ процесса самообучения одной такой системы.

## "Процесс учения с накоплением опыта"

Штефан Петраш

В процессе решения задач оптимального управления с неполными информациами об управляемом объекте встречаемся с основным вопросом - каким образом определить подходящий алгоритм управления, главным образом в том случае, если на систему воздействуют помехи, и если система является многоразмерной. Для этих целей у нее не являются подходящими методы детерминации. Применение находят стохастические методы.

В докладе приведены новые алгоритмы учения. Эти алгоритмы являются дискретно стохастическими. В своей сущности они представляют собой сложный марковский процесс  $k$ -ого порядка. Реализация случайного единичного вектора определяется условной вероятностью параметра памяти. Собственное решение делятся на основе решения Байеса, или нее принципа максимальной апостериорной вероятности.

В докладе доказывается, что при соблюдении определенных условий этот процесс является мартингальским, или нее полумартингальским процессом. Приводится сходимость этих процессов.

На конкретном случае приводится процесс поиска экстремума функции, при помощи которого описан управляемый объект. Описанные алгоритмы являются подходящими для управления непрерывными производственными процессами,устойчивыми состояниями при помощи самодействующих вычислительных машин.

## СВОЙСТВО ЭРГОДИЧНОСТИ И ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНЕЧНЫХ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Н. Н. Ие

Я. Т. Тоу

Теория обучения широко использует цепи Маркова как математические модели. Установлено также, что стохастические конечные автоматы, которые играют важную роль в технических системах содержащих "искусственный разум", представлены конечной однородной цепью Маркова.

В работе исследуются эргодические свойства конечных цепей Маркова путем использования норм векторов и матриц, принципа индуцированных операторов и принципа сужающих изображений в конечномерном линейном пространстве.

Доказано, что если наименьшая норма индуцированной матрицы перехода инвариантного подпространства  $S_0$ , с нормалью  $(I, I, \dots)$  меньше единицы, цепь обладает свойством эргодичности и действует как сужающее отображение на подпространство  $S_0$ . Обратно, если однородная конечная цепь Маркова эргодична она действует как сужающее отображение на  $S_0$ . Норма индуцированной матрицы переходных вероятностей может служить пессимистической оценкой степени сходимости.

Представлена общая процедура определения эргодичности и степени сходимости конечной однородной цепи Маркова. Согласно этой процедуре получаются достаточные и необходимые условия эргодичности вместе с другими критериями эргодичности для специальных случаев. Доказано, что эргодичность определяется формой переходной матрицы и не связана с численными значениями элементов матрицы.

# 'Статистический минимально-максимальный метод решения и его применение в узнаванию управления.

Бунжи Кондо и Шигеру Эино

## Конспект

Этот доклад говорит о методе статистического решения применяемого когда изучаем механизм системы управления.

Действие минимально-максимального решения применяется когда знаем очень мало на счет системы. Суб-оптимальное минимально-максимальное решение нормально дается как функция данных былых опытов с помощью теории игр и техники линейной программы. Эта стратегия возможна когда количество данных малое.

Дальше, этот доклад говорит о учебном механизме, который изменяет стратегию решения из мини-макси метода на метод Баеса в меру увеличивания количества данных.

УПРАВЛЯЕМОСТЬ И СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ  
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ф.М.Кириллова, И.А.Полетаева,  
С.В.Чуракова, Р.Габасов

С С С Р

В докладе приводятся результаты авторов по некоторым аспектам теории оптимальных процессов, полученные с помощью метода приращений и метода функционального анализа.

Указанны условия управляемости систем (линейных, нелинейных) с последействием. Исследуются критические случаи управляемости нелинейных систем, когда уравнения линейного приближения не позволяют судить об управляемости системы. Доказан ряд теорем существования оптимальных управлений для систем с запаздыванием. Предложена новая форма записи условий оптимальности, которая, сохраняя изящность формализма Л.С.Понтрягина, отличается большей универсальностью. Эта форма сохраняется для систем, описываемых разнообразными уравнениями (интегро-дифференциальными, интегральными, уравнениями в частных производных)

Обосновано правило выделения из экстремалей Л.С.Понтрягина оптимальных управлений. Изучена одна задача оптимизации с параметрами.

Разработана процедура исследования особых оптимальных управлений.

Исследуется вопрос распространения основных фактов теории оптимальных процессов в непрерывных системах на дискретные системы. Отмечаются специфические особенности развивающейся теории.

Обсуждается вопрос о возможности исследования указанными методами задач теории дифференциальных игр.

ИНТЕГРАЛ ИЗ ФУНКЦИИ МНОГОЗНАЧНЫХ И ЛИНЕЙНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ч. Олех

Математический Институт Польской Академии Наук / Краков/.

Пусть  $P(t)$  для  $t \in [0, T] = J$  будет замкнутым множеством  $\mathbb{M}$ - мерного линейного пространства. Через  $\int P(t)dt$  понимается множество  $\{\int u(t)dt\}$ , где  $u(t)$  это интегрируемая функция на интервале  $J$  такая, что  $u(t) \in P(t)$  почти всюду в  $J$ .

Такое понятие интеграла применяется в некоторых линейных проблемах оптимального управления. До сих пор исследовано только случай когда  $\int P(t)dt$  ограниченное множество.

В этой работе первый раз исследуется случай когда интеграл неограниченный и подаётся применение.

Синтез условий оптимального контроля  
методом разложения функций.

Эта работа обсуждает синтез функций оптимального контрольного режима, входящих в линейные многообразия контрольного пространства, из компонент основных функций их определяющих.

Выводится выражение для нижнего предела индекса минимального режима работы. Это выражение может быть найденным, даже при отсутствии условий оптимального контроля.

Оптимальный режим любого из линейных многообразий определяется функцией начальных условий, в виде закона оптимального контроля.

Дается простое правило для выбора линейного многообразия с законом оптимального контроля, приближающимся с любой заданной точностью к оптимальному режиму контрольного пространства.

Мгр. инж. Станислав Рачыньски

Кафедра автоматики и промышленной электроники

Горно-Металлургической Академии

Краков

Обозначение зон эмисии и траектории оптималь-  
ных нелинейных систем управления

В статье представлено новый метод обозначения зон эмисии и траектории оптимальных нелинейных систем управления, с использованием теории ориенторных полей. Используя этот метод, можно обозначить дифференциальные уравнение первого порядка о частотных происходных, описывающие поверхность которая является берегом зоны эмисии системы. Оптимальные траектории системы, можно обозначить путём решения этого уравнения методом характеристик Коши. Этот способ сводит проблему к решению системы обычных дифференциальных уравнений типа Гамильтона. Эти уравнения аналогичные по уравнений получённых варяцёнными методами, но их интерпретация отлична, а то потому что метод отличный от метода варяцённого.

Представлена проблема связана с управлением типа "банг-банг" и потому можно её применить в многих практических задачах.

А.И. Пропой /Москва/

## 7.5. О МНОГОШАГОВЫХ ИГРАХ

В работе рассмотрены дискретные игры с фиксированным числом шагов. На примере подобных игр обсуждены различные постановки задач как в дискретных, так и в непрерывных /дифференциальных/ играх.

Для случая, когда игра имеет седловую точку, получены необходимые условия оптимальности. Даны достаточные условия того, чтобы дискретная игра имела седловую точку. Рассмотрены также частные случаи.

Для случая, когда игра седловой точки не имеет, получены необходимые условия оптимальности для определения верхней и нижней оценок игры, т.е. для минимаксной и максиминной стратегий.

Обсуждаются вычислительные методы в многошаговых играх. Рассмотрена возможность распространения полученных результатов на дифференциальные игры.

М.А. Розенблат, М.А. Боярченков

(Москва)

## 22.1. МАГНИТНЫЕ АДАПТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Для построения адаптивных систем автоматического управления часто требуются элементы, выполняющие следующую функцию:

$$Z = x F(y, t), \quad (1)$$

где  $x$  - выходная, непрерывная переменная;  $y$  - управляющий сигнал, вызывающий изменение коэффициента передачи элемента в соответствии с функцией адаптации  $F(y, t)$ . Можно выделить четыре характерных вида функции адаптации:

$$F(y, t)_{t > t_0} = F[y(t_0)] = k \cdot y(t_0); \quad (2)$$

$$F(y, t) = k \int_0^t y dt; \quad (3)$$

$$F(y, t)_{t > t_0} = F_i \left[ \sum_{j=1}^n \Delta y(t_j) \right]; \quad (4)$$

$$F(y, t)_{t > t_0} = k \operatorname{sign} y(t_0). \quad (5)$$

В первом случае (2) функция адаптации сводится к запоминанию значения адаптирующего сигнала  $y$  в некоторый момент времени  $t_0$ . Во втором случае (3) функция адаптации равна интегралу управляющего сигнала  $y$ , который нередко представляет собой разность между заданным и действительным значениями некоторого регулируемого параметра системы управления. В третьем случае (4) функция адаптации представляет собой некоторую монотонную (но не обязательно однозначную) функцию суммы приращений управляющего (адаптирующего) сигнала, поступающего на соответствующий вход адаптивного элемента в произвольные моменты времени  $t_1, t_2, t_3, \dots$ . Функция адаптации (4) обычно ис-

пользуется в системах, адаптируемых методом последовательного поиска или обучения. Функция адаптации (5) принимает только три дискретных значения ( $-k$ , 0,  $+k$ ), из которых часто используются только два значения, например 0 и  $k$  или  $-k$ .

Обшим для всех четырех видов функции адаптации является то, что они обладают памятью. При этом для выполнения функций (2-4) требуется аналоговые запоминающие элементы, а для функции (5) — дискретные (двоичные или троичные) запоминающие элементы. Именно по этой причине оказывается целесообразным использовать свойства ферромагнетиков и сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса для построения адаптивных элементов.

Любой адаптивный элемент может быть построен путем последовательного включения запоминающего элемента, выполняющего функцию адаптации  $F(y, t)$ , и стандартного аналогового множительного устройства. Однако особый интерес представляют адаптивные элементы, у которых функции адаптации и умножения сочетаются в одном устройстве.

В докладе рассмотрены основные принципы выполнения указанных выше функций адаптации на магнитных сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса и методы построения магнитных адаптивных элементов с органическим сочетанием функции адаптации и умножения.

## ВНЕШНИЕ СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВХОД-ВЫХОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Н.П.Васильева, ИАТ/ТК/,  
Москва,  
СССР

Произвольные последовательностные схемы могут иметь сложные структуры, содержащие внутренние замкнутые контуры, в частности, триггеры, внешние характеристики которых определяют устойчивость работы всей последовательностной схемы в целом.

Показывается, что вид внешних динамических и статических характеристик триггеров и других последовательностных схем существенно зависит от способа суммирования сигналов в контурах обратной связи. В логических элементах существует два вида суммирования: а/диодное суммирование, при котором выходной сигнал суммирующей части элемента равен величине наибольшего из входных сигналов и не зависит от величины остальных сигналов входов; б/арифметическое суммирование. При диодном суммировании входных сигналов сигналы обратной связи увеличивают коэффициент усиления только внешних статических характеристик схем и не влияют на коэффициент усиления внешних динамических характеристик. Поэтому функциональная устойчивость импульсных последовательностных схем определяется наихудшими из внутренних характеристик. При арифметическом суммировании входных сигналов сигналы обратной связи увеличивают коэффициент усиления внешних динамических характеристик и уменьшают помехоустойчивость либо по нулю, либо по единице. Поэтому в этом случае наихудшими являются внешние характеристики, которые и должны использоваться при контроле триггеров.

Анализируются условия устойчивости синхронных динамических триггеров.

В.Б.Кудрявцев  
(Ленинград)

### 3.1. УСТРОЙСТВА ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ МАШИН НА ПРИНЦИПАХ КВАНТОВОЙ МАГНИТОМЕТРИИ

Разработаны основы построения преобразующих устройств контура первичной обработки информации УВМ на принципах квантовой магнитометрии, позволяющие повысить точность преобразования электрических параметров и угловых перемещений в код. Созданы новые типы прецизионных преобразующих устройств.

Теоретически и экспериментально доказана возможность увеличения эффективности преобразования при использовании новых физических принципов, не применявшимся ранее в системах контроля и управления. В качестве основного узла преобразователей использованы магнитные мазеры. Использован также эффект глубокого охлаждения с целью повышения эффективности преобразования.

Разработана методика аналитического расчета канала преобразования электрических параметров в код по заданным требованиям к точности преобразования.

Приведены примеры новых конструкций функциональных узлов широкого назначения, представляющих систему магнитно-частотных устройств.

## Обмер удельного веса методом магнитического отталкивания

Камекичи Шиба

Тадаши Ишиносэ

Инженерный Факультет, Тоё Университет  
2100 Наканодай, Куджираи, Кавагоэ - ши  
Префектура Сaitама, Япония.

Поплавок с постоянным магнитом кладется в жидкость, а другой магнит /постоянный или электро-магнит/ находится в не-жидкости для удержания поплавка магнитическим отталкиванием.

В это самое время наружный магнит подвешивается на один рычаг весов. Показано здесь теоретически, что мнимое увеличения массы наружного магнита равно мнимой массе поплавка в жидкости. Это является принципом обмера этого метода, что было проверено опытами.

Применяя этот метод нам совершенно не нужны сведения на счет положения поплавка в жидкости и мощь пружинного магнита, что означает обмер не зависит от каких либо перемен магнитной силы так долго как магнит имеет достаточную силу для удержания поплавка в жидкости.

Этот метод специально применяемый для обмера удельного веса жидкости в автоматических системах управления.

## ОБЩИЙ МЕТОД СИНТЕЗА ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

П.М. Франк  
Университет в Карлсруэ  
Федеративная Республика Германии

Представляется метод практического проектирования регуляторов для линейных и нелинейных регулируемых объектов. Метод опирается на следующие принципы:

1. Параллельная компенсация регулируемого объекта путем моделирования этого объекта (для стабилизации цепи управления и для защиты от мешающих ответов).
2. Последовательная компенсация объекта управления (для оптимального управления).

Путем определения структуры регулятора вопрос проектирования был сведен к чистой проблеме управления, которую можно решить оптимальной аппроксимацией объекта. Показано, что сам метод при сложных регулируемых объектах допускает высказывание о соответствующих пределах регулирования и ведет к выводам относительно структуры регулятора.

Исследовано применение метода к линейным объектам регулирования с сосредоточенными и распределенными параметрами, а также к нелинейным объектам регулирования.

В качестве примера описан проект оптимального по быстроте устойчивого регулирования накопительного объекта с ограничением регулирующих величин.

## АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ СИСТЕМЫ СЛЕДЯЩЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Кляус В. Плессманн

Высшее техническое учебное заведение  
Аахен, Федеративная Республика Германии

Исходя из представления системы следящего регулирования в виде нормированного полинома и нормированной функции, разработан метод преобразования системы следящего регулирования в указанную форму. Необходимые для этого компенсирующие элементы получаются непосредственно из рассматриваемой системы, с учетом условий осуществления. Оказывается, что для применения этого метода можно исходить из годографа объекта регулирования. При этом параметры компенсирующих элементов получаются по графическому методу. Оказывается также, что определяемый компенсирующий элемент может быть замещен приближением, которое при простой применяемости дает хорошие результаты. Представлен пример применения разработанного метода.

# ПРОСТОЙ МЕТОД СИНТЕЗА ИМПУЛЬСНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Вольфганг Латзель

Заводы "ДОРНИР"

Фридрихсхафен, Федеративная Республика Германии

Предлагается метод, при помощи которого известные преимущества изображения частотных характеристик для определения геометрических размеров устойчивых систем управления можно непосредственно использовать для синтеза импульсного регулирования. Рассматриваемые импульсные системы состоят из одного объекта регулирования описываемого дифференциальным уравнением, одного запоминающего элемента нулевого порядка и одного регулятора, описываемого дифференциальным уравнением или передаточной функцией.

$$G/z/ = \frac{d_0 + d_1 \cdot z^{-1} + \dots + d_n \cdot z^{-n}}{1 - c_1 \cdot z^{-1} - \dots - c_n \cdot z^{-n}}$$

порядка  $n = 1, 2, 3$ .

Для непосредственного применения метода частотных характеристик приведено описание передаточной функции  $G/p/ = G_1/p/ \cdot G_2/p/$  относящейся к запоминающему элементу и регулятору в пределах  $\omega=0\dots\Omega$

При этом  $G_1/p$  описывает идеальный устойчивый регулятор с пропорциональным дифференцирующим или пропорциональным интегрирующим - дифференцирующим переходным процессом, а  $G_2/p$  представляет свойства связанные с квантованием по времени. К регулятору с астатической частью относится формула  $\sum c_i = 1$ .

Коэффициенты импульсного регулятора следует так подбирать, чтобы задающие-переходные функции цепи управления давали апериодическую реакцию. Выведена относящаяся к этому передаточная функция разомкнутой цепи управления  $F_o/p$ , которая была положена в основу определения геометрических размеров импульсного регулятора. Этот метод показывает хорошие результаты для объектов регулирования порядка  $N \geq 2 / c \quad n \leq N/$ .

СУБОПТИМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ  
РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫШЕГО ПОРЯДКА С ОСОБЫМ  
УЧЕТОМ СВОЙСТВ УНИВЕРСАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

В. Бекер

Институт техники регулирования  
Аахен, Федеративная Республика Германии

Во всех технических установках физические величины подвергаются определенным ограничениям. Особенно в технике регулирования недостаточно во многих случаях пренебрежение ограничением скорости действия исполнительного органа. Оптимальное во времени регулирование рассматриваемых здесь объектов регулирования дает процесс, который состоит из  $n$ -коммутационных интервалов и обладает наименьшей линейной площадью регулирования, если не допускается никакое перерегулирование. Представлена зависимость этой площади регулирования от параметров системы. Указано, что процесс состоящий только из двух коммутационных интервалов, или даже только из одного, во многих случаях значительно приближается к оптимальному процессу. Отклонение всегда дается очень просто определить. Осуществление этого субоптимального процесса с двумя коммутационными интервалами ведет к созданию конструкции регулятора, который очень близок линейному пропорцио-

нальному интегрирующему-дифференцирующему регулятору с предварением. Путем применения универсальной нелинейности обратная связь регулятора согласовывается с ограниченной скоростью действия исполнительного органа. Заданные значения для регулятора вытекают простым образом из характеристических показателей объекта регулирования. Система нечувствительна к изменениям параметров и работает удовлетворительно также при любых помехах. При одном коммутационном интервале применяется известный двухпозиционный регулятор с замедленной обратной связью, который вместе с интегральным исполнительным органом имеет сходную конструкцию с линейным, пропорционально-интегральным регулятором. На эти регуляторы не требуется больше затрат, чем на линейные пропорциональные интегральные и интегрирующие-дифференцирующие регуляторы и можно их применять везде там, где процессу регулирования мешает ограничение скорости действия исполнительного органа. С другой стороны использование в большей степени технических возможностей этих регуляторов ведет к тому, что такие ограничения сознательно учитываются и благодаря этому можно создать экономически более выгодные установки.

Р.М.Дейвиз, Т.Г.Ламберт, М.Дж.Эжоби  
Отделение Механики, Юниверсити Колледж Лондон

Уменьшение динамических отклонений  
путем изменения прерывных параметров.

Воспроизведение управляющего сигнала вместе с усилением мощности - главное назначение большинства сервомеханизмов. Обычно, это достигается применением устройства действующего от рассогласования, а которое предотвращает совершение равенство подводимого и выходного сигналов в динамических условиях.

Метод уменьшения динамических отклонений путем изменения прерывных параметров предложили Флугге-Лоц и Вунх.

Сперва он был разработан для систем второго порядка, потом расширен на системы третьего порядка. Настоящая система дает результаты сходны с результатами Флугге-Лоц и Вунха для систем низкого порядка, но новый подход легко допускает расширение на системы высших порядков.

Настоящая статья и сообщает об экспериментальном применении контроля переключаемых параметров в электрически сигнализированном, инерционно нагруженном, электрогидравлическом сервомеханизме, и показывается, что получается повышенная "отзывчивость" предсказана моделированием. Обсуждается действие запаздывания переключения и доказывается, что повышение "отзывчивости" систем с высокой чувствительностью требует резких ограничений активных компонентов управляющего звена.

Таким образом доказано, что механические реле не отвечают требованиям, и поэтому разрабатываются коммутационные цепи по принципам физики твердого тела. С этой модификацией можно повысить "отзывчивость" всей системы вставляя логику переключения на дорогу обратной связи. Учитывается вставка той логики и в шлейф вокруг электрогидравлического клапана, но высшие резонансные частоты связаны с низшей инерцией подвижных деталей указывают, что повышение достижимо

только после переработки управляющего звена удовлетворя требования более быстрых переключений.

Вместе с полным обсуждением тех ограничений, статья доказывает, что философия контроля путем изменения прерывных параметров применима в практических, нелинейных системах. Даются результаты и моделирования и экспериментов относительно поведения таких систем.

# НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОПРОСА КВАНТОВАНИЯ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Александр Вейнманн

В представленном докладе рассмотрено главным образом квантование сигналов, амплитуда которых находится в пределах порядка нескольких ступеней квантования. Указано влияние таких двух- и многоступенчатых квантующих устройств на замкнутую систему регулирования.

Прежде всего рассмотрены спектральные исследования многоступенчатых систем с детерминистическим сопоставлением; они показывают явления резонанса только при малых вариациях амплитуды.

Исследования были проведены также при условиях колебаний замкнутой системы регулирования, в которой находились многоступенчатые устройства передачи с детерминистическим квантованием или с родственными изменениями сигналов.

Эти рассуждения распространены окончательно на статистические двух- и более-ступенчатые процессы, которые имеют специальное распределение вероятностей для погрешности квантования, происходящее из постановки задачи для цифрового регулятора. Упомянуты два практических метода с частичным приведением обстоятельных результатов измерений, которые указывают значительное снижение или компенсирование влияния квантования в стационарном состоянии. Описываемый метод не требует больших затрат на технические приборы.

Адель Х.Ельтимсаги  
Университет Толедо  
Толедо, Охайо, США

Люис Ф.Казде  
Университет Мичиген  
Эни Арбор, Мичиген, США

### Оптимальная система отопления.

В этой статьи применена ранее развита /1/ математическая модель домашнего газового отопления с вынужденной циркуляцией воздуха, для создания метода оптимального управления такой системой согласно предписанному критерию поведения.

Оптимальной задачей является доведение колебаний комнатной температуры от установленной величины до нуля, с одновременной минимализацией определенной функции производительности или стоимости "И".

Развитие схемы оптимального управления поступает в следующих основных четырех фазах:

- а/ превращение математической модели в форму более подходящую к применению оптимизационных техник,
- б/ определение критерия оптимизации, содержащего главную задачу, т.е. минимизацию отклонений комнатной температуры от предписанной величины,
- в/ избрание оптимизационной техники, наиболее подходящей для решения оптимизационной задачи,
- г/ запроектирование оптимальной системы управления использующей ранее развитую технику оптимизации.

В заключении анализируется эту оптимальную систему и сравнивается ее с обычной системой отопления употребляя для этого числовой пример.

Л.А.Растригин, В.С.Трахтенберг  
Рига

Многомерная линейная экстраполяция  
в задачах оптимального проектирования и управления.

Изменение ситуации в процессе проектирования системы или дрейф параметров управляемого объекта приводят к необходимости многократного проведения расчетов по определению оптимальных параметров системы или управления. Такой способ отслеживания изменения ситуации нерационален и приводит к значительному удлинению сроков проектирования или к снижению эффективности и оперативности управления.

Разработая алгоритм использования информации, накопленной в результате уже проведенных расчетов на оптимальность, для оценки оптимальных параметров в последующих новых ситуациях. Оценка осуществляется на базе весьма ограниченной обучающей последовательности без проведения процедуры многопараметрической оптимизации.

Для простых линейной и нелинейной функций проведены теоретические исследования ошибок восстановления этих функций по методу многомерной линейной экстраполяции. Исследования ошибки восстановления сложной линейной функции осуществлялись с применением ЭВМ на примере оценки коэффициентов полинома, наилучшим образом аппроксимирующего заданную функцию. Значения функции известны в некоторых точках интервала наблюдения, количество которых меньше размерности аппроксимирующего полинома.

Метод многомерной экстраполяции применен для беспоисковой настройки параметров самонастраивающейся модели в задаче идентификации объекта. В качестве ситуации, определяющей состояние объекта, выбрана автокорреляционная функция выхода объекта или взаимная корреляционная функция входа и выхода объекта. Эксперименты по определению параметров модели методом многомерной экстраполяции, выполненные на ЭВМ для теоретических и выборочных корреляционных функций, показали хорошие результаты в смысле близости предсказанной модели к теоретически оптимальной.

## ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОЙ ВАРИАНТНОСТИ ПАРАМЕТРОВ И СОСТОЯНИЙ В ЯДЕРНЫХ СИЛОВЫХ СИСТЕМАХ

by L. J. Habegger, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois, U.S.A.  
R. E. Bailey, Purdue University, Lafayette, Indiana, U.S.A.

Экспериментальное отождествление динамических характеристик ядерных реакторных систем при помощи общепринятых методов таких как измерение  $1/e$  периодов или измерение переноса через осцилляций контрольных стержней или при помощи ввода случайных шумов ограничено более или менее следующими обстоятельствами:

- 1) возможность получения информации только для немногих отдельных параметров,
- 2) неспособность обращения с основными нелинейностями ядерных систем,
- 3) долгая продолжительность опытов что не позволяет контролировать характеристических динамических перемен которые часто встречаются,
- 4) установка требует весьма специализированных инструментов для получения определенных вводов в систему. Настоящая работа описывает метод послеловательной оценки минимальной вариантности который позволяет обходить эти ограничения. Этот метод оценивает динамические параметры системы при помощи измерений производительности системы на основе известных произвольных вводов.

Приводится обсуждение результатов полученных от практических опытов проведенных на трех реакторных системах - силовые реакторы EBR (экспериментальный кипящий реактор), EBR-II (экспериментальный бридерный реактор) и исследовательский реактор PUR-I (Purdue University - I). В экспериментах с EBR оценки параметров были основаны на одновременном измерении мощности и давления в течение переходных падений стержней. Эта оценка повторялась в шести различных диапазонах мощности для определения параметров как функций мощности. Метод был пригоден для получения оценок параметров которые имели физический смысл и которые давали хорошее согласие для мощности и давления между переходными режимами предсказанными моделью и такими полученные при помощи измерений. Дополнительные применения к EBR-II и PUR-I демонстрируют широкий диапазон проблем отождествления которые могут быть решены при помощи этого метода.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОДНОГО КЛАССА ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Ж. А. Филипсон, С. К. Миттер  
Системс Уестерн Ризерв Юниверсити  
Кливленд, Огайо 44106

Работа посвящена вопросу идентификации состояния одного класса линейных систем с распределенными параметрами. Так как система описывается дифференциальными уравнениями в частных производных, её решение требует знания начальных условий и внешних возмущений включающих краевые условия. Рассматривается следующий вопрос:

Даны i) грубые измерения начальных условий и внешних воздействий, ii) грубые или даже некомплектные измерения состояния системы. Исходя из этих данных требуется определить точные начальные и граничные условия сопряженные с заданным дифференциальным уравнением в частных производных, которые является в определенном смысле оптимальным по отношению к этим данным.

Оценки краевых и начальных условий сопряженные с заданным дифференциальным уравнением определяются исходя из среднеквадратического критерия оптимальности. Представлены теоретические результаты и расчётная схема с численным решением.

Обмер экстремизации в периодическом процессе оптимального управления.

Акира Сано и Митсуро Терао  
Токио Университет  
Токио, Япония

В связи с непосредственным цифровым управлением периодического процесса, оптимальная регулировка во время обмера была проследена для уменьшения нужного количества и точности обмеров. Этот доклад показывает что оптимальная регулировка во времени в многом зависит не только от неизменимых процесса образа функции щета и его параметров, но тоже от точности обмера и возмущающего воздействия процесса. Функция счета /действия управления/ которая состоит из квадратов в управлении и окончательной ошибке или постоянной ошибки, вычисляемая при помощи теории линейного вычисления и стохастической оптимизационной техники. Вопрос разделяется на переходное состояние оптимизации, что означает на проблему окончательного управления и оптимизацию остановившегося состояния. Прежде, когда обмер был один а процесс был беспокоен шумом, было видно что для неизменного времени для постоянного процесса оптимальная регулировка во времени подходит к окончательному времени асимптотически и для очень непостоянного процесса оно подходит к середине перерыва управления. Для постоянного процесса, оптимальная регулировка во времени должна быть близко окончательному времени когда основательная неуверенность может быть устранена а регулировка во времени была раньше чем получилась основная неуверенность.

Нужен больше чем один обмер для получения оптимизации остановившегося состояния а оптимальная регулировка во времени обмеров подвергается внешним беспокоям в почти одинаковых пределах.

Этот доклад представляет компромисс между количеством и точностью обмеров для некоторых уточненных производительности снижая цену обмера для постоянного и непостоянного процесса.

Прения здесь, имеют общий облик, и занимаются не только

постоянным процессом но и непостоянным таким как ферментационный или в атомных реакторах и можно их приложить к оптимизации очень изменяющихся процессов.

Наблюдаемость линейных, динамических измерительных систем и некоторые применения.

Такаши Секигуки

Йокогамский Государственный Университет

Йокогама , Япония

Если не можем предположить, что скорость реакции измерительного прибора или датчика достаточно велика по сравнении с изменениями измеряемых величин /входные величины для измерительного прибора или датчика/, мы вынуждены эту измерительную систему рассматривать как динамическую измерительную систему.

В таком случае соотношение величин входного и выходного сигнала представлено дифференциальным или разностным уравнением.

Наблюдаемость такой системы является расширением наблюдаемости состояния Кальмана и эквивалентна наблюдаемости на входе.

В этой статье приведено достаточные и необходимые условия в виде теорем и выводов для систем прерывного непрерывного и смешанного действия.

Кроме того оговорено некоторые применения к конкретным проблемам, как измерение динамических или непостоянных крутящих моментов мотора при помощи тензометра, а также постановку соответствующего опыта.

К.К. Бандиопаджай Пр.С.Дасгунта

### О вопросах определения параметров приливных каналов.

Определения параметров приливных каналов очень важно для моделирования каналов и для нахождения методов регулирования характеристик приливных каналов, которые часто употребляются для решения других вопросов навигации. Такое определение обычно дается с помощью моделирования приливных каналов и расчеты часто являются сложными итеративными алгоритмами.

Для предсказывания реагирования каналов необходимо знать кое-какие параметров, которые сами медленно изменяются по времени. Поэтому быстрая оценка этих величин прямо из измеренных данных очень важна.

В настоящей статье рассматриваются некоторые способы определения нескольких параметров каналов из измеренных величин, где алгоритмы не требуют итерации.

Найден метод для определения коэффициентов трения Чези любого сечения канала и показаны оценки разных методов. Такие каналы являются экспоненциально-конусообразными их поведение почти аналогично к ЛЭП низких частот с экспоненциальным затуханием.

Метод векторной диаграммы и метод четырехполюсной сети тоже были использованы для определения некоторых параметров.

Все эти методы были использованы для определения важных параметров реки Хугли в Индии. Полученные результаты соответствуют результатам с помощью других существующих методов.

Вопросы регулирования системы с замедленным  
действием

Д.Х Чианг, Университет в Айова

Е.Б Ли, Университет в Миннесота

В этой работе мы показываем изменения, которые необходимо внести в теорию экстремального регулирования в случае когда управляющая система модели зависит от прежнего поведения переменных состояния и регулируемой величины.

Более точно говоря, мы рассматриваем системы, которые описываются линейными дифференциальными уравнениями функции. Система может иметь добавочные ограничения или многие функции стоимости. Рассмотрен вопрос существования экстремального регулятора и выведены необходимые и достаточные условия для экстремального регулятора.

Анджей МАНИЦЬС /Польша/

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМИ ПРОЦЕССАМИ  
С ЗАПАЗДЫВАНИЯМИ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ ПРИ  
КВАДРАТИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ КАЧЕСТВА

В работе представлена теория оптимального, с точки зрения квадратичных показателей качества, управления процессами, описываемыми линейными дифференциальными уравнениями с запаздывающим аргументом. Сущность трудности данной задачи заключается в том, что размерность вектора состояния процесса бесконечная. Выходя из принципа максимума Л. С. Понтрягина, проблема сведена к интегральным уравнениям Фредгольма второго рода. Исходя из теории Фредгольма доказано: существование и однозначность решений рассматриваемых интегральных уравнений; существование и однозначность оптимального управления. Затем представлено общий вид решения для разных вариантов задачи /управление в открытой системе, в замкнутой системе, с предикцией/. Доказано его линейность по отношению к состоянию процесса и ряд других нетривиальных свойств. Доказано существование некоторого матричного ядра, представляющего собой общее решение вопроса. Выведены интегральные и дифференциальные типы Риккатти уравнения для этого ядра.

Показано существование ряда существенных аналогий по отношению к известному решению вопроса оптимального управления линейными процессами без запаздывания, приведенного Р. Е. Калманом.

Показано тоже, что представленные результаты для случая без запаздывания сводятся точно к результатам Калмана.

Представленные результаты могут служить исходным пунктом при разработке расчетных алгорифмов оптимализации, что является важным, например, для химических процессов и процессов, происходящих в сахарном производстве.

## Границы показателя качества и мини-макс регуляторы в системах замедленного действия

А.И.Коиво С.И.Кане Г.И.Коиво  
Пурдю Университет Университет в Миннесота  
Ляйфает, Индиана Миннеаполис, Миннесота

Если система подвергается ограниченным возмущениям, величина показателя качества процесса отклоняется от номинальной. Верхняя и нижняя граница отклонений этого показателя для системы замедленного действия может быть определена применяя геометрию экстремального регулирования. Эти границы составляют хорошую меру величины влияния возможных возмущений действующих на систему.

В связи с тем что для системы с замедленным действием редко можно определить экстремальное регулирование с обратной связью, приблизительно-экстремальный регулятор, действующий на базе переменных мгновенного состояния и/или переменных прежнего состояния, является практическим решением.

Такие регуляторы могут быть запроектированы на базе критерия мини-макс. Представлен процесс проектирования и приведены примеры.

# ОПТИМАЛЬНОЕ ДИСКРЕТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Джеймс Ф. Банас  
Зандия Корпорейшн  
Альбукерк, Нью Мехико  
87106, С.Ш.А.

Андре Ж. Вакру  
Депт. оф Электрикаль Энджинеринг  
Иллиноис Инст. оф Технологи  
Чикаго, Иллиноис 60616  
С.Ш.А.

Рассматривается оптимальное кусочно-постоянное управление систем с запаздыванием изменяющимся во времени в переменных состояния.

В начале рассматривается случай, в котором запаздывание выступает только в переменных состояния. Определяется функционал в виде Гамильтониана и система сопряжённых переменных, которая содержит в себе зависимость от времени. Предполагается, что запаздывание состояния  $\theta(t)$  выполняет условия  $\theta(t) \geq 0$  и  $0 \leq \dot{\theta}(t) < I$  при  $t_{\text{нач}} \leq t \leq t_{\text{кон}}$ .

Найдены локальные необходимые условия оптимального управления систем необязательно линейных. Одно из этих условий гласит, что оптимальное управление соответствует локальному максимуму или стационарной точке Гамильтониана. Сформулирован принцип максимума для линейных систем с запаздыванием и с квадратичным показателем качества; в этом случае оптимальное управление соответствует глобальному максимуму Гамильтониана.

Сформулированы модифицированные необходимые условия оптимальности для систем содержащих кроме запаздывания в состоянии, также изменяющее во времени запаздывание в управлении.

Приведен аналитический пример иллюстрирующий теорию. Он подчеркивает некоторые трудности решения задач оптимального управления с изменяющимся во времени запаздыванием.

Эта работа была частично финансирована Комиссией по Атомной Энергии С.Ш.А.

А.Б.Куржанский, Ю.С.Осипов  
/Свердловск/

### 13.4. ОБ ОПТИМАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА ФАЗОВЫЕ КООРДИНАТЫ СИСТЕМЫ

Обсуждаются вопросы, связанные с задачей об оптимизации /нерегулярного/ выпуклого функционала на траекториях линейных систем при ограниченных фазовых координатах и задачей об управлении с ограниченными фазовыми координатами при условии минимизации полного импульса управляющего воздействия линейной системы.

Для первых задач рассматриваются, в частности, специфические трудности, связанные с появлением скользящих режимов. В задачах второй группы, где оптимальные управления содержат обобщённые  $\sigma^*$ -воздействия, изучается структура оптимальных решений.

НАХОЖДЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ  
ПЕРЕМЕННЫХ ОДНОГО КЛАССА ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ПРИ  
ИХ ОПТИМАЛЬНОМ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ УПРАВЛЕНИИ

И.П.Цветанов  
Институт по техническа кибернетика  
София, Н.Р.Болгария

В работе дается точное решение одной из основных проблем теории оптимального управления-нахождение начального вектора  $\varphi^{(0)}$  вспомогательной системы, который при помощи принципа максимума определяет оптимальное по быстродействием управление в одном важном классе линейных объектов.

Решение разбивается на этапы:

В первом этапе точки разрыва (переключения) оптимального управления рассматриваются как параметры удовлетворяющие условию:

$$0 < t_1 < t_2 < \dots < t_e$$

Пространство  $\mathcal{X}^0$  начальных векторов  $\varphi^{(0)}$  разделяется на взаимно непресекающихся подобластей  $\mathcal{X}_e^0$  ( $e = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ).

Для каждого  $e = 0, 1, 2, \dots, n-1$  соответствующая подобласть  $\mathcal{X}_e^0$ , для которых оптимальное управление имеет  $t_e$  точек разрыва (переключения). Теорема 1 определяет точный вид  $\mathcal{X}_e^0$ .

На втором этапе показано, как найти  $t_1, t_2, \dots, t_e$ . Выводятся  $2n$  трансцендентных системы, одна из которых связывает аналитически точки разрыва оптимального управления с начальным состоянием  $\dot{\mathcal{X}}^0$  управляемого объекта. Точное решение рассматриваемой проблемы формулировано Теоремой 2 и Леммой 3.

Др.А.Борос  
УАдВ. Будапешт

## Собственные колебания пневматических усилителей мощности и методы их устранения

В мировом масштабе получили применение - исследуемые в данном докладе - усилители мощности с компенсацией сил и прерывным применением воздуха. Результатами теоретического исследования колебаний подобного усилителя занимался один доклад на конгрессе ИФАК-а в 1966г.

Настоящая работа занимается пневматическим решением демпирования колебаний, напротив механического решения, которое был ознакомлен на этом конгрессе. Для собственных параметров данного усилителя может быть выбрана такая схема членов R-C , при применении которой самовозбужденные колебания не могут возникнуться.

Из-за известной нелинейности пневматических элементов, эти параметры определяются опытным путем.

Доклад познакомит самыми важными результатами и дает короткий обзор о методах исследования.

## ДИНАМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

Автор: Дж. Дж. Хантер

Для реалистического изучения гидравлических систем при помощи моделирующих или цифровых вычислительных машин, необходимы модели гидравлических элементов основанные на опытном исследовании. Большая часть доступных сведений ограничена изучением характеристик установившегося состояния, и потому исследования управления гидравлических систем имели тенденцию принимать теоретический характер. Отсутствие экспериментальных данных о динамическом поведении гидравлических элементов поэтому препятствовало применению теории управления гидравлических систем.

Прилагаются некоторые результаты испытания, при помощи гидравлического аппарата частотной характеристики, различных гидравлических элементов включая расходомеры. Так-как эти элементы обычно нелинейны, то передаточные функции между течением и другими переменными определяются наложением небольшой синусоидальной вариации на средний расход потока и измерением амплитуды и фазы других переменных относительно к расходу. Диапазон частот испытательного аппарата равнялся 0.01-100 гц а средний диапазон потока от 1 до  $9 \times 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/сек. Моделирующая форма волн не ограничивается синусоидальной. Другие формы волны могут применяться для сравнения с анализом моделирования вычислительной машины, применяя полученную модель. Даются подробности расчета и испытаний нестационарного расходомера расчетанного для такой работы, частотная характеристика которого достигает 300гц., и проводится анализ его поведения при быстро меняющихся течениях. Его средний измеренный расход потока, при этих условиях, хорошо согласуется со средним потоком полученным измерением общего потока в измеренный промежуток времени. Будут также обсуждаться некоторые вопросы относящиеся к расчету испытательного стендса и к "шуму" присущему обычно турбулентному режиму течения в гидравлических цепях.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СЕРВОМЕХАНИЗМОВ

### С МАЛЫМИ ПО АМПЛИТУДЕ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Г.Р. Мартин *M.Sc., Ph.D., C.Eng., M.I.Mech.E.*

А. Лихтарович *B.Sc. Ph.D., C.Eng., M.I.Mech.E.*

Кроме периода испытаний и нескольких экстремальных условий сервомеханизмы значительное большинство времени работают с малыми отклонениями. Эти отклонения могут быть так малы, что нелинейные эффекты будут того же порядка, что и сигналы управления. В этой статье сделана попытка исследования поведения гидравлических сервомеханизмов в пределах таких сигналов с помощью теоретического анализа уравнений системы.

Для анализа параметров системы используется цифровая вычислительная машина, а результаты имеют общий вид, так как уравнения и результаты приведены в безразмерной форме.

Приведенные графические результаты говорят о направлении изменения параметров системы при уменьшении её входного сигнала, а также о эффектах демпфирования с помощью вязкого трения, утечек, сухого трения. Нормальный анализ таких систем исходит из линейности характеристики, в данной статье приводится сравнение этих двух подходов к проблеме.

Показывается, что на некотором уровне входного сигнала даже собственное затухание недостаточно и система проявляет постоянные малые колебания амплитуды.

У.Д.Тайер, Муг Инк  
Ист Аврора, Нью Йорк, США

### Электрогидравлические неповреждаемые сервомеханизмы.

Описаны современные методы конструирования сервомеханизмов работающих безперебойно даже при наличии функциональных повреждений.

Представлены примеры и данные разных авиационных и космонавтических применений.

Требования к механическим передаточным отношениям установочных вспомогательных приводов с минимализацией времени.

Б.Л. Хо

Айомек Инк.

Санта Клара, Калифорния США

От многих установочных промышленных приводов и сервомеханизмов требуется на сегодняшний день работы с минимализацией времени для этих приводов необходимо очень тщательно подбирать механические передачи соединяющие приводящее звено с нагрузкой, чтобы не удлинять установочного времени.

Для облегчения процесса конструирования представлены уравнения и графики.

Предполагается, что нагрузка по натуре инертна; приводящее звено или типа сервомотор или же типа двигатель/сцепление.

Обычно, передаточное отношение подбирается по нагрузке, что дает максимальное ускорение нагрузки; показано что эта практика не обеспечивает минимизации времени работы для рассматриваемых нагрузок и видов привода.

Опытный метод определения размеров исполнительных элементов  
(регулирующих вентиляй) для технологических процессов

---

Доктор-инж. Райнер Мюллер, Высшая техническая школа Ильменау,  
кафедра техники регулирования, Германская Демократическая  
республика

При корректирующих потоках технологических процессов предварительный точный расчет данных, необходимых для расчета исполнительных элементов является часто невозможным. Причинами являются например неточности в теплотехническом расчете процесса или в расчете потерей давления в проводах. На примере впрыска воды для регулирования температуры перегретого пара в паротурбинной электростанции в качестве типического примера корректирующего тока на основе теории исчисления погрешностей доказано, что неточность предварительно определенного тока управления и падение давления на регулировочном вентиле порядка в 100 %.

В таких случаях согласование исполнительных элементов на основе результатов измерений неизбежным. Разработан метод итеративного согласования исполнительных элементов при помощи диаграммы, в которой проток и разность давлений записаны в логарифмических координатах ( $\Delta p - Q$ -диаграмма). Диаграмма записывается экспериментально при помощи координатного самописца на устройстве, оснащенном временным исполнительным элементом для введения в действие. Из этой измерительной диаграммы можно определить необходимую величину и целесообразную статическую характеристику исполнительного элемента.

Записанные опытно  $\Delta p - Q$ -диаграммы клапана впрыска паросигновой установки и регулирующего клапана установки парового отопления показывают применение этого метода.

Обсуждаются специальные проблемы определения рабочей характеристики в независящих от тока изменениях давления.

# К ИССЛЕДОВАНИЮ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ УПРАВЛЯЕМЫХ ТИРИСТОРНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Эфендизаде А.А., Листенгартен Б.А., Багиров С.М.,  
Заирова Т.А., Курдюков Ю.М.

Рассмотрены режимы работы асинхронного двигателя при питании его от статического преобразователя частоты. График напряжения преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока имеет вид ступенчатых кривых, поэтому "преобразователь-двигатель" можно рассматривать в виде импульсной цепи с формирующим элементом, создающим прямоугольные импульсы; приведенная непрерывная часть соответствует схеме замещения двигателя. На основании теории импульсных цепей исследованы квазистабилизированные и электромагнитные переходные процессы. Проведен анализ режимов пуска двигателя при разных частотах и условиях нагрузки.

Разработана и исследована замкнутая система автоматического регулирования скорости асинхронного двигателя при питании его от статического преобразователя частоты при постоянной мощности нагрузки.

Разработана и исследована система тиристорного электропривода постоянного тока с трехфазным полууправляемым выпрямителем. Эта система предназначена для закаточного агрегата шинного производства.

Представлена методика расчета электромеханического переходного процесса в асинхронном двигателе при питании от статического преобразователя частоты с трехфазным параллельным инвертором. Для расчета на ЭЦВМ уравнения асинхронного двигателя представлены в системе осей, вращающихся с угловой скоростью, определяемой частотой. Напряжения, прикладываемые к двигателю, представлены в аналитической форме в виде решетчатых функций.

М.З.Хамудханов

Т.С.Камалов

К.Муминов

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМА  
ПОСТОЯНСТВА АБСОЛЮТНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ОТ  
ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Рассматриваемая система состоит из замкнутых контуров регулирования напряжения, частоты и емкости конденсаторов инвертора.

Напряжение преобразователя регулируется по отклонению абсолютного скольжения двигателя от заданного значения в зависимости от частоты, нагрузки и величины емкости конденсатора. Величина абсолютного скольжения измеряется путем дискретного вычитания частоты пропорциональной скорости вращения двигателя от частоты генератора инвертора с последующим преобразованием в напряжение обратной связи.

Включаемое активное сопротивление между выпрямителем и инвертором, кроме устранения мертвой зоны и уменьшения инерционности системы при включениях, позволяет упростить устройства управления тиристорами мостовых схем выпрямителя и инвертора уменьшением количества дублирующих импульсов до одного.

Бесконтактная защита тиристоров системы от сверхтоков, возникающих от аномальных режимов свойственных данной системе, основано на принципе контроля нормальной работы тиристоров, а защита от автоколебаний осуществляется введением гибкой обратной связи в виде короткозамкнутой цепи в сглаживающем дроселе.

Результаты исследований разработанных устройств систем автоматики, управления и защиты показали работоспособность и возможность практического применения рассмотренной системы.

В.Н.Яворский, Е.С.Аватков, В.И.Макшанов  
Э.М.Алдонин, В.К.Дорохин  
С С С Р

К теории следящих приводов с тиристорным  
частотным управлением К.З. трехфазным асинхронным двигателем.

Рассмотренная в докладе теория относится к следящим приводам, имеющим к.п.д. почти в два раза выше, чем у распространенных сейчас в народном хозяйстве следящих систем, построенных на трех вращающихся машинах, и существенно повышенную надежность.

Одной из важных причин, затрудняющих разработку таких прогрессивных, но сложных импульсных нелинейных следящих систем, является отсутствие инженерных методов их расчета, обеспечивающих высокие показатели устойчивости и заведомо достаточные для практики точности слежения.

Используя инвариантные входы по возмущающему моменту, удается компенсировать влияние переменной составляющей момента инерции объекта на динамику следящего привода. Используя "нелинейные единичные функции", удается составлять дифференциальные уравнения динамики таких систем, как нелинейных, так и линеаризованных вариантов и существенно сократить трудоемкость расчетных вычислений.

Приводятся выдержки из расчета следящей системы с исполнительным двигателем 10 квт, в котором использованы типовые уравнения. Из расчета очевидно целесообразность рассмотренного в докладе метода.

Регуляция скорости индукционного двигателя при помощи прямо управляемых тиристорных преобразователей.

Эйчи Охно

Масахико Акаматсу

Центральная испытательная лаборатория

Митсубиши Электрик

Амагасаки, Хього, Япония.

В статистической системе Шербюса обращающиеся движение индукционного двигателя управляет через обратную связь энергии в его источник через кремневый выпрямитель и тиристорный преобразователь в вторичной цели.

Авторы переанализировали переплы в энергии в индукционном двигателе с вторичным возбуждением, и пришли к решению что не только в низких реенах скоростей, но тоже в высоких реенах скорости выше ссынхронизованных скоростей можно применить прямо управляемые тиристорные преобразователи вместо кремневых выпрямителей в обыкновенной статической системе Шербюса.

В этой ново развитой системе, вторичная энергия добавлена к основной для получения сверхсинхронического движения. Стается тоже возможным возрожденное торможение в реенах нормальных скоростей что весьма невозможно в обыкновенной системе Шербюса.

Для получения сверхсинхронической системы Шербюса, надо применить теперешний тип прямо управляемого преобразователя, который работает согласно с вторично индукованным напряжением.

Позволяет это на переплы в преобразователю в двух направлениях. Для того чтобы найти соотношения вторичного напряжения и дать сигнал в тиристорный преобразователь, в испытательной аппаратуре применяем розпределитель высокой частоты.

Испытания были проведены в постоянных условиях в реенах скоростей выше и ниже ссынхронизованных скоростей, которые подтвердили анализ.

Интегральное цифровое управление привода тиристора постоянного тока.

Ф.Фальсайд и Р.Д.Джексон.

Описан привод управляемый вычислительной машиной где каждый тиристор в выходном усилителе мощности неприкосновенно управляемый вычислительной машиной. Эта техника дает возможности точного управления мгновения запуска и согласна с условиями оптимального управления. Она тоже позволяет на применение простых цепей запуска так как они триггерированы, приводят к аккумулятору вычислительной машины, и уменьшения внешних цепей сравнения так как их деятельность может быть перенята вычислительной машиной.

В опытном приводе, 2 ЛС мотор питаемый через трифазный мостиковой тиристорный усилитель. Вычислительная машина имеет длину выражения в 12 мест и точный контроль скорости получается через импульсную модуляцию угловой установки вала.

Цифровое кодирующее устройство вала квантовано по времени через вычислительную машину при 300 герцах, тиристорную по вторающую частоту и тиристорное запаздывание запуска вычисляемо с прироста положения и программированных условий: точный момент запуска для такого тиристора вычисляется и тиристор запускается вычислительной машиной; целая операция повторяется для следующего тиристора.

Добавочно, к опытным результатам дается полное описание алгоритмов управления вместе с методом синхронизации импульсов запуска с 50 герцным возбуждением усилителя и другими практическими деталями.

Д.В.Свечарник, Л.Х.Шидлович, Ю.М.Келим, А.А.Белоглазов  
/Москва/

### 39.5. РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫМИ МИКРОМАШИНАМИ

Рассмотрен принцип действия совмещенных микромашин типа мотосин (совмещенный двигатель-сельсин) и ДУПС (двигателей, управляемых пространственным сдвигом осей обмоток).

Даны основы теории мотосинов и двигателей, управляемых пространственным сдвигом осей обмоток. Специфика полученных соотношений обусловлена тем, что для мотосинов и ДУПС определяющим фактором является изменение пространственного положения электрических осей обмоток.

Приведены примеры применения совмещенных микромашин в системах автоматики.

Переходное отклонения и анализ установившегося режима ступенчатого двигателя.

Шелльдон С.Л.Чанг.

Государственный Университет Нью-Йорка в Стоны Брук.  
Стоны Брук, Нью-Йорк.

Разработаны: эквивалентная цель и уравнения вычисления производительности ступенчатого двигателя типа с магнитным со- противлением, пределы его производительности и методы его привода на высоких оборотах к инерциальному сервомотору для бесперерывного контроля установки.

## СИНХРОННЫЙ МИКРОЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ НОВОГО РОДА

Доц. др. инж. Е. Овчарек

Варшавский Политехнический Институт. Польша.

В докладе приведена теория и метод расчета синхронного микроЗлектродвигателя нового рода. Принцип действия двигателя обоснован на явлениях выступающих в гистерезисных электродвигателях, машинах с постоянными магнитами и синхронных двигателях с электромагнитным возбуждением.

Благодаря соответственно подобранным свойствам магнитно-твёрдого материала ротора и оригинальному режиму запуска разработанный двигатель отличается в определенном диапазоне мощности эксплуатационными параметрами, превосходящими соответствующие параметры других видов синхронных микромашин при более технологической конструкции.

Согласно разработанной теории построено несколько экземпляров двигателей с различными номинальными данными. Их исследование доказало правильность теории и большую точность предлагаемого метода расчета этих двигателей. Двигатель является предметом патента.

С.В.Грин

Р.Дж.А.Паул

Институт технического управления, У.С.Н.В.  
Бангор, Великобритания

## Факторы участвующие в анализе и проектировании линейного активатора постоянного тока

Этот доклад касается проектирования и строения двигателей постоянного тока, способных на произведение прямолинейных напора и движения. Такие приборы можно применять в качестве приводных двигателей, а в тоже время сохранять разнообразность характеристик отношения: сила - быстрота, обычных у машин П.Т.

В докладе описываются две формы линейной конструкции, как и принцип действия. Проблемы связанные с рассеянием потока, введенным обрывами в поле у оконечных опор, описываются в отношении с этими конструкциями.

Применяются ограниченные разностные приближения к уравнениям поля, в повторной процедуре, чтобы получить расположение магнитной индукции вовсюду в машине, в данных условиях возбуждений. Эти сведения дают возможность вычислить напор и напряженность полей рассеяния. Оптимизация машинной топографии и таких величин как отношения: напор - вес или напор - входная мощность делается возможна.

Кратко описывается прибор у которого выходное движение ограничивается на короткие развертки, что делает возможным применение закрытого якоря без потребности коммутатора или щеток. Типичное применение такого прибора представляет собой управление механических клапанов, в случае где хочется устранять надобность зубчатых колес.

х/ двигателя, мотора

D. H. Jacobs

D. Q. Mayne

## Дифференциальное динамическое программирование

В статье описываются некоторые алгоритмы второго порядка для оптимизации нелинейных систем. Оригинальный алгоритм дифференциального динамического программирования позволяющий только небольшую вариацию контроля в каждой итерации является более пригодным конвенционального алгоритма второй вариации, как по брою дифференциальных уравнений для интегрирования так и по сходимости. Позволив большие вариации контроля и применяя новую методу настройки шага интеграции получена класса много полезных алгоритмов обладающая рядом преимуществ. По исходной траектории "Нии" не должно быть позитивным различным нулю.

Данным алгоритмом возможно решать задачи с контрольными ограничениями, как на пример задачи вида "включено-выключено". Алгоритм иллюстрирован с несколькими примерами. Дискутируется его применение для решения задач с случайными процессами.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

Серджио де Йлио

Факольта ди Инженерия, Университа ди Рома, Рим

Италия

Представлена новая методика для приближенного расчета оптимального управления, благодаря которой можно избежать необходимости решения дифференциального уравнения управляющего режима системы. Показано, что методика может быть применена к линейным системам управления при использовании уравнений в частных производных, где функционалы оценки квадратичны.

Параграф 2 и 3 относится к случаю распределенного управления, т.е. когда уравнение системы типа:

$$\dot{X} = AX + BU \quad X(0) = X_0 \quad (1)$$

В § 2 предполагается, что желаемое изменение состояния определено и функционал оценки должен быть минимизирован:

$$J(u; X) = \int_0^T \|X(t) - X_d(t)\|^2 dt + \lambda \int_0^T \|u(t)\|^2 dt \quad (2)$$

тогда как в параграфе 3 дано только конечное желаемое состояние  $X_d$  и критерием является:

$$J(u; X) = \|X(T) - X_d\|^2 + \lambda \int_0^T \|u(t)\|^2 dt \quad (3)$$

Показано, что в обоих случаях приближенное решение проблемы оптимизации производится путем решения  $\mathcal{E}$ -проблемы, проблемы определяемой минимизацией функционала.

$$J_{\varepsilon}(u; X) = J(u; X) + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^T \|X(t) - AX(t) - Bu(t)\|^2 dt$$

§ 4 связан с задачей предельного управления для которой система уравнений следующая:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= A \\ X|_{\Sigma} &= u \end{aligned} \quad X(0) = X_0 \quad (4)$$

$X|_{\Sigma}$  является ограничением  $X$  на пределе. §-проблемой в этом случае является минимизация функционала:

$$J_{\varepsilon}(u; X) = J(u; X) + \frac{1}{\varepsilon} \int_0^T \|X(t) - AX(t) - Bu(t)\|^2 dt$$

при условии:  $X|_{\Sigma} = u$ , где  $J(X; u)$  является или (2) или (3).

Результаты расчетов минимальной нормы управления для системы с распределенными параметрами изложены в § 5. В § 6 обращается внимание на то, что предложенная методика может быть распространена на более широкий класс систем и функционалов оценки.

Статистический подход к оптимализации системы управления с многовершинным индексом действия.

Фудзио Нишида

Сеичи Мизуно

Инженерный Факультет, Шizuoka Университет

Хамаматсу, Япония.

Это было очень трудно улучшить плохо определенные системы с многовершинным индексом, обычными методами такими как через градиент или исследования.

Но в некоторых случаях в псевдо-постоянном процессе где индекс действия /PI/ почти независим от времени, там кажется быть более или менее содействие между оптимальной и субоптимальной точками.

Можно тоже надеяться, что можно употребить - для определения корреляции - некоторые измеримые количества, которые зависит от всяких волнений действия PI. Метод, который здесь представляем применяет вышеупомянутое свойства во время исследования, это значит - система записывает составы данных таких как оптимальная и субоптимальная точка, их PI стоимость и другие низкие корреляционные суммы.

Дальше, система определяет через испытание мини-максимальный коэффициент вероятности, можно ли определить целую оптимальную точку оперируя местной оптимальной точкой, или надо продолжать испытание к моменту, когда будет определена мощность испытания так, что риск связанный с потерей расходов на испытание и с принятым решением будет самый малый.

Моделированные и аналитические результаты показывают, что риск потери уменьшается, когда имеются вышеупомянутые корреляции.

Для таких систем, которые нуждаются большого времени на испытания и сравнения предлагается пробной поправленный метод.

ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ИТЕРАТИВНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ОПТИМАЛЬНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

П. Сарашик

Л. Горвиц

Нью-Йорк Юниверсити  
Нью-Йорк, Нью-Йорк

Представлен обзор итеративных методов оптимизации Девидона и сопряженного градиента. Рассмотрены различные свойства этих методов и указано их применение к оптимальному управлению. Приведены два примера иллюстрирующие эти методы.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗАДАЧ  
МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ  
С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИЕЙ

А. Я. Корсак, Р. Э. Ларсон  
Станфорд Рисерч Институт ,  
Менло Парк, Калифорния, США

Метод динамического программирования с последовательной аппроксимацией был предложен Беллманом и с успехом применялся многими авторами. В случае когда количество управляемых сигналов равно количеству переменных состояния с помощью этого метода п-мерную задачу приводится к решению последовательности одномерных задач.

В работе содержится доказательство, сходимости решения к оптимальному для трех важных классов оптимального управления, каждый из которых соответствует определенной задаче выпуклого программирования.

Эта работа была финансирована и выполнена Лабораторией Информации и Управления Станфорд Рисерч Институт Менло Парк Калифорния 94025.

Идентификация процессов  
путём минимализации расстояния между совокупностями  
сигналов

В работе показано, как можно решить проблему идентификации путём минимализации расстояния между совокупностями сигналов. Этот метод приводим к общему алгоритму идентификации (8). В случае евклидово пространства можно получить аналитическое решение этого алгоритма (15).  
В случае других пространств решение можно получить числовым методом. Показано, каким образом можно учесть при идентификации нелинейности и действительного запаздывания два наиболее существенные явления при моделировании промышленных процессов.

Проектирование системы ведения модели при применении комплексного преобразования.

Деннис Ф. Вильке

Отдел Исследования и Планирования Транспорта.Форд Мотор Компании.

Деарборн, Мичиган, США.

и

Вильям Р.Перкинс.

Лаборатория координации наук и Отдел электротехники.

Университет Ильлийюс.

Уrbana, Ильлийюс, США.

Показан новый подход к проектированию одновходных, линейных, временно неизменных системов ведения модели. Основой разницы между моделью а системой комплексного преобразования является минимизация индекса производительности, со стеснением что собственное значение системы и модели одинаковое. Эта стесненная минимизация превращена в нестесненную алгебраическую минимизацию через включение постоянной обратной связи в автоматическом регуляторе.

Так как не нужно поворотного решения дифференциального уравнения, время решения много короче от нужного для подхода к этой проблеме дорогой минимизации индекса интегральной производительности.

Обсуждаются мотивировка нового метода, а пример показывает как этот подход к проблеме дает скорое решение задачи.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДЕЛИ ПО КАЧЕСТВЕННЫМ КРИТЕРИЯМ В ПРЕДЕЛАХ ВРЕМЕНИ

Г. Шварце

ГДР

Описаны методы определения характеристик или отождествования линейной аналоговой системы с одним входом и одним выходом, относящейся к однократным или многократным интегралам функции сигналов. Применены при этом известные методы функционального анализа, относящиеся к определенным линейным нормированным пространствам. Существенным при этом является обстоятельство, что при рациональной переходной функции модели исходным является недифференциальное уравнение, но соответственно интегральное уравнение. Применяя норму по Чебышеву и способ квадратичной погрешности, представлено методы предусмотренные для цифровых вычислительных машин (включая метод для нумерических процессов). По каждому методу приведены примеры, дающие представление о рабочих возможностях метода.

## ПОРЯДОК И ПРИВЕДЕНИЕ К ФАКТОРАМ МАТРИЦЫ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

В работе рассматривается проблема вычисления порядка линейной системы описанной матрицей импульсных характеристик и приведение к факторам этой матрицы.

В качестве основы способов решения этих двух проблем, предлагаются метод позволяющий генерацию, исходя из матрицы импульсных характеристик, совокупности решений класса однородных дифференциальных уравнений сочетаемых с этой матрицей. Этот метод заключается в исполнении операций свертки между матрицей импульсных характеристик и функциями принадлежащими к пространству входных функций. Показывается так же, что можно избрать подходящие совокупности входных функций таким образом, чтобы совокупность полученных решений включала основную совокупность.

Оценка размеров этой совокупности решает в данном случае проблему вычисления порядка и может быть осуществлена простым способом используя свойства матрицы Вронского основной совокупности решений дифференциального уравнения.

Эффективное построение совокупности решений и определение, в её сфере, основной совокупности, решает в последствие проблему приведения к факторам.

Общий метод предложенный в работе применяется как к постоянным так и к дискретным системам; как в стационарном так и в нестационарном случае. При этом методе кроме прямого вывода самых эффективных алгоритмов вычисления порядка стационарной системы и возможности получения их вариантов, даются новые алгоритмы для нестационарной системы и новые решения проблемы приведения к факторам.

C.BRUNI - A.ISIDORI - A.RUBERTI

О ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА

Дж. Ариенти, Ч. Сутти, Ж. П. Сеге.

Университета ди Милано - Милан - Италия.

Представлен новый метод численного решения функций Ляпунова  $v = \varphi(x)$ . Этот метод не основан на классических теоремах Ляпунова, а на новых расширенных теоремах недавно доказанных Н. П. Баччиа, Ж. П. Сеге и Д. Трекани. Эти расширенные теоремы не налагают какого-либо знака-состояния на функции  $\varphi(x)$ . Развитие метода позволяет аппроксимировать область притяжения  $A(\{0\})$  точки равновесия  $x=0$  в динамической системе  $n$ -го порядка:  $\dot{x} = f(x)$ ,  $f(0) = 0$ , посредством неоднородного полинома формы  $P_m(x)$  произвольной степени  $m$ . К тому же это позволяет отличить три разные ситуации: случай когда  $A(\{0\})$  является целым пространством, случай когда  $A(\{0\})$  не компактно и наконец когда  $A(\{0\})$  компактно. В дополнение получено два параметра, которые вполне используются при конечной интерпретации результатов, радиусы наименьших описываемых и наибольших вписываемых сфер относящихся к поверхности уровня  $\varphi(x)$  которая аппроксимирует границу  $A(\{0\})$ . Численно проблема представлена как неподчиненная ограничениям задачи мини-макс по отношению к коэффициентам  $P_m(x)$  удовлетворяющим функциональным требованиям получаемым из метода штрафных функций.

Применены алгоритмы Дэвидона-Макгилла, Павелла и золотого сечения по отношению к одно-пространственным исследованиям. Имеется в распоряжении полная программа на Фортране IV и полностью обработанный пример.

# УСТОЙЧИВОСТЬ В КОНЕЧНОМ ВРЕМЕНИ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В. Л. Гарард

Департмент Аэронаутик энд Инженеринг Меканикс  
Юниверситы оф Миннесота  
Миннеаполис Миннесота, С.Ш.А.

Представлены определения различных типов устойчивости в конечном времени. Разработаны теоремы, имеющие, как нам кажется, практическое значение для синтеза законов управления систем описанных обыкновенными дифференциальными уравнениями, в которых управление входит линейно. Этот закон управления обеспечивает устойчивость в конечном времени.

Определены достаточные условия, при которых система из начального состояния принадлежащего определенному множеству перейдет в определенное время в состояние принадлежащее заданному множеству. Управление может быть выбрано таким образом, чтобы эти условия выполнялись. Предложен метод выбора такого управления и приведены примеры.

А.Т.Фуллер

Отдел регулирования Кембриджского Университета, Англия

## Устойчивость релейных систем автоматического регулирования.

Исследуется устойчивость релейных систем автоматического регулирования в линейной функцией переключения посредством довольно точных кусочно-линейных вычислений. Устанавливается, что когда объект состоит из трех интеграторов, система неустойчива в большом при всех значениях коэффициентов регулятора.

ПРИБЛИЖЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ  
НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

Эугенио Сарти

Центро Кальколи э Сервомеканизми, Факольта ди Инженерия, Университа ди Болония, Италия.

Эта работа связана с методом аппроксимации области  $R$  устойчивости нелинейных систем таким образом, чтобы исходная точка в пространстве состояний являлась условием равновесия. Первый вид аппроксимации получен рассмотрением подмножества  $S$  из  $R$ , которое ограничено гиперповерхностью Ляпунова: такое подмножество является годографом траекторий сходящихся к начальной точке в промежутке возрастания времени. Функция Ляпунова типа "квадратическая форма плюс интеграл нелинейности" используется для определения подмножества  $S$  для класса систем с одним нелинейным элементом, характеристика которого выходит за пределы сектора абсолютной устойчивости для некоторых величин входной переменной. Исследованы геометрические свойства ограниченной гиперповерхности.

Множество  $T$  исходных состояний-начало с которого состояние нелинейной системы стремится к исходной точке, является другой аппроксимацией области  $R$ . Иное множество  $S$ , с которого траектории не могут выйти, при этом состояние системы может покинуть множество  $T$ , т.е. отношение к множеству  $T$  является более слабым условием, чем к множеству  $S$ . Это одна возможность для нас найти

область  $T$  ограниченную в частности простой гиперповерхностью, которая не зависит от нелинейной характеристики. С этой точки зрения мы можем рассматривать этот метод как распространение понятия абсолютной устойчивости на системы которые обладают локальной, а не глобальной устойчивостью.

П.Х.Паркс и А.Дж.Причард

Институт Автоматики, Университет Уорика,  
Ковентри, Англия.

## ПОСТРОЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛОВ ЛЯПУНОВА

Вслед за первой работой В.И.Зубова и А.А.Мовчан, второй метод Ляпунова был использован недавно с некоторым успехом для исследования устойчивости широкого класса систем с распределенными параметрами, в частности, для анализа динамических систем, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных.

В настоящей работе рассматриваются основные положения и теоремы и затем обсуждаются методы построения функционалов Ляпунова и матриц для анализа устойчивости систем, описываемых гиперболическим и параболическим операторами.

Для широкого класса линейных операторов эти функционалы могут быть получены путем обобщения методов, разработанных для операторов второго порядка. Для нелинейных задач функционалы Ляпунова могут быть найдены соответствующим видоизменением функционалов для линейных задач.

Методы, описанные в первой части работы, иллюстрируются впоследствии следующими примерами из области колебаний и замкнутых систем автоматического регулирования:

- /I/ Колебания вращающегося вала с демпфированием,
- /II/ Регулирование температуры в однородной заготовке,
- /III/ Регулирование угла положения тяжелого однородного вала с упругим защемлением,
- /IV/ Регулирование нормального ускорения ракеты с учетом упругости.

Показано, что в трех задачах регулирования второй метод Ляпунова является более простым по сравнению с классическими методами анализа. Это применение позволяет отыскать правильную точку для измерения, а также форму контура обратной связи.

О.Палусиньски

А.Лоренс

М.Ганврит

Заметки о методе линейных  
связанных систем

Представлены результаты исследования устойчивости с помощью второго метода Ляпунова двух важных классов нелинейных систем. Полученные условия устойчивости показывают, что для этих систем правомерна гипотеза о линейных соображеных системах [1, 2, 3].

Рассмотрены следующие два класса нелинейных систем:

- следящие системы содержащие линейный объект и звено с нелинейной статической характеристикой.
- нелинейные системы описанные с помощью матричного уравнения второго порядка.

Выбор функций Ляпунова определен энергетическими условиями.

Я.З.Цыпкин, Г.К.Кельманс, Л.Е.Эпштейн  
Москва, СССР

### Обучающиеся системы управления.

Обучающиеся автоматические системы характеризуются способностью улучшать свое поведение /и свойства/ в процессе функционирования. В работе обсуждается принцип построения обучающихся автоматических систем и выясняются их возможности и особенности.

В основу функционирования обучающихся автоматических систем положены алгоритмы обучения классификации наблюдаемых ситуаций /образов/.

Особенности и сложность классификации ситуаций в значительной степени определяются объемом париорной информации.

На основе минимизации общего функционала типа среднего риска ошибочной классификации получены алгоритмы классификации ситуаций при различной априорной и текущей информации /алгоритмы с поощрением и алгоритмы без поощрения/.

Показано, что при частных видах функций потерь могут быть получены как известные к настоящему времени, так и новые алгоритмы обучения и самообучения. Алгоритмы применены для построения обучающихся систем управления и обучающегося приемника импульсных сигналов.

Приведены результаты экспериментального исследования самообучающегося приемника.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ  
В СИСТЕМЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ СОДЕРЖАЩЕЙ ПОМЕХИ,  
С ПОМОЩЬЮ ДИСКРЕТНОГО ПРИНЦИПА МАКСИМУМА

Др. М. Г. Гаммонд

Миссисильс Рисерч энд Эндж.

Норт Эмерикан Роквелл Корп.

Колюмбус, Огайо

Проф. Г. Уид

Департмент оф Электрикаль Эндж.

Огайо Стейт Юниверсити

Коломбус, Огайо

Дискретный принцип максимума Понtryгина применяется к задаче определения оптимальной последовательности измерений в системе распознавания образов содержащей помехи.

Оптимизация последовательности состоит в минимизации функционала качества содержащего текущие затраты на измерение, штраф, когда принимается неправильное решение, меру прогресса в течении поиска правильного решения.

Принятый подход приводит задачу распознавания образов к рассмотрению стохастического конечного автомата, каждое состояние которого соответствует множеству квантированных вероятностей того, что неизвестный образ принадлежит одному из возможных классов.

Предполагается, что изменение состояний происходит в дискретные моменты времени. Соответствующие уравнения перехода представлены в виде четырехмерного тензорного уравнения, полученного из развития теоремы Баеса.

Показано, что к этой задаче можно применить дискретный принцип максимума, после установления некоторых требований, касающихся изменяющейся области, которой принадлежат управляющие переменные, т.е. способа измерения. Эта область изменяется в зависимости от применяемого способа измерения.

По сравнению с трудоемкими методами поиска применение принципа максимума значительно уменьшает число основных расчетов, необходимых для определения лучшей последовательности накапливаемой информации.

Э.М.Браверман, Б.М.Литvakов  
Москва, СССР

### Сходимость алгоритмов обучения и адаптации.

Приводится ряд теорем, позволяющих устанавливать сходимость и оценивать скорость сходимости случайных процессов, возникающих при использовании метода стохастической аппроксимации. Известные ранее теоремы Дворецкого, Блума и Гладышева могут быть получены как следствия приводимых в докладе теорем

Устанавливаются условия, при которых в процедуре Роббинса Монро требование суммируемости ряда квадратов сжимающих множителей может быть ослаблено и заменено требованием стремления этих множителей к нулю.

К.Фукунага

Т.Ф.Криле

Алгоритм оценки числа ошибочных решений  
в системе распознавания образов

Показан алгорифм для точного вычисления определения ошибки когда применяется эталонную векторную величину к оптимальному классификатору Баеса.

Закладывается что эталонные векторные величины с двух классов, которых население имеет гауссовую статистику с неодинаковые ковариантные матрицы и арбитральные априорные возможности. Квадратная дискриминантная функция вместе с классификатором Баеса применяется как одно-размерная случайная изменимая на основе которой вычисляется возможность ошибки, как только получено распределение дискриминантной функции.

Дан тоже метод определения ошибки через аппроксимацию разделя дикриминантной функции.

Эта аппроксимация, так как и точный алгорифм, применяются с большим успехом к восми-размерному примеру.

## РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ МЕТОДОМ НАЙМЕНЬШИХ ИНТЕРВАЛОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

З. Бубнишки

Политехника Вроцлавска, Институт Технической Кибернетики,  
Отделение Процессов Управления, Вроцлав, Польша.

В стохастической задаче распознавания объектов часто выступают случаи, в которых вероятности появления объекта из определённого класса и распределения вероятности параметров объектов из данного класса заранее неизвестны.

Существуют различные алгоритмы такого рода непараметрического распознавания при применении процесса обучения с тренером. В первой, вступившей части работы излагается некоторый способ сравнительного анализа таких алгоритмов на основе средней вероятности ошибочной классификации и исследования асимптотических свойств процесса обучения. В связи с этим введены понятия асимптотической оптимальности и абсолютной асимптотической оптимальности.

На основе приведенных рассуждений формулируется новый способ непараметрического распознавания с обучением, так называемый алгоритм наименьшего интервала. Сущность представленного подхода заключается в конструировании определённым способом эмпирических распределений вероятности с использованием обучающей последовательности.

доказано, что представленный алгоритм обладает свойством абсолютной асимптотической оптимальности в случае независимости отдельных измеряемых параметров объекта. Этот случай нетипичный для распознавания знаков, но встречается часто при классификации технологических ситуаций в промышленных процессах.

Во второй части работы представленный алгоритм применяется в некоторой концепции обучающейся системы автоматической оптимизации промышленного процесса с распознаванием технологических ситуаций.

Й. Барат и Г. Мусели:

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ИСПОЛЬЗУЩЕГО  
МЕТОДА АДАПТАЦИИ СТРУКТУРЫ

В работе предлагается метод выбора  $n$  функций  $\varphi_i(x)$  присутствующих в разделяющей функции типа

$$\sum_{i=1}^n c_i \varphi_i(x) ,$$

Из заранее заданного класса функций, содержащих конечное или бесконечное число элементов, выбираются такие функции, меры эффективности  $h(\varphi_i)$  которых превышает некоторый порог. Значения  $h(\varphi_i)$  оцениваются в процессе обучения.

В работе проводятся теоретические и практические исследования надежности метода.

Оптимизация пневматических систем  
состоящих из элементов с отклоняемой струей,  
для автоматического управления и вычислительных машин.

Осуществление пневматических систем для процессов автоматизации из логических элементов с отклоняемой струей, ставит вопрос оптимизации стоимости и поведения этих систем.

Этот вопрос может быть решен путем применения электрической аналогии, используя резистивно-емкостные схемы, операционные усилители, а в случае элементов с эффектом также триггеры Шмитта.

Настоящий труд показывает каким образом подобрать электрические величины элементов системы, чтобы достигнуть динамического поведения аналогического поведению эквивалентной пневматической системы.

Обратное рассуждение дает возможность установить параметры пневматической системы, которая является аналогичной с электрической и предсказать ее поведение.

Поставленной задачей является создание и предварительное исследование аналогичных электронных схем для оптимизации отбора, расположения и соединения разных пневматических элементов будущей составной пневматической системы.

Самым простым способом пояснения нашего метода электрической симуляции пневматических систем является пример.

Мы будем симулировать систему показанную на Фиг. I используя усилитель состоящий из 2-х элементов с отклоняемой струей Р1 и Р2, причем второй элемент является нагрузкой для первого

Сначала мы определим характеристику пневматической системы, что даст нам возможность установления исходных коэффициентов аналогии.

Для построения однако электрической системы необходимо провести минимальное количество измерений.

## К ВОПРОСУ О ТЕОРИИ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ СТРУЙНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Милян Бальда

Пражское Высшее техническое учебное заведение  
Прага, Чехословакия

Доклад содержит аналитические соотношения, на основании которых можно произвести расчет рабочих характеристик пропорционального усилителя. Разработан метод учитывающий происходящие в усилителе физические процессы. Применяя некоторые характеристические значения (как, например, максимальный исходный поток, давление и геометрические размеры), получено по этому методу хорошее совпадение с экспериментальными данными.

## Развитие жидкостного оптимизатора.

Ф.К.Б. Лехтинен

Н А С А Люис Исследовательный Центр.  
Клевелянд, Охайо, США.

П.А. Орнэр  
Университет Кейс Уэстерн Резерв.  
Клевелянд, Охайо, США.

Этот доклад занимается развитием цифрового жидкостного оптимизационного контроллера, работающего на основе верхних габаритов, применяемого для контроля одного экстремального входного процесса. Контроллер получает жидкостный импульсно-частотный модулированный импульс обратной связи, который измеряет экстрема изменимых, вычисляет приблизительные отклонения при помощи техники сочетания импульсов, и дает импульс управления который ведет процесс к его оптимуму. Анализ поисков убытков оптимизатора контролирующего статическую экстремальную систему позволяет на избрание параметров контроллера оптимальным способом.

Экспериментально, оптимизатор был примерен для максимизации выхода давления простой нелинейной пневматической системы.

Результаты опытов даны для статического случая и для динамического процесса.

ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ  
НА ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ В СТРУЙНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СО СВОБОДНОЙ  
СТРУЕЙ

Анджей Проневич

Przedsiębiorstwo Automatyki Przemysłowej; Warszawa-Falenica  
Польша

Описаны попытки использования влияния тепла, полученного из электрической энергии, на протекание струи воздуха в пневматических дискретных элементах со свободной струей. Представлены конструктивные схемы использующих это явление электропневматических преобразователей и приведено упрощенное математическое описание их статических свойств.

Рассматриваемые струйные элементы состоят из двух противоположных сопел. Питающий воздух подводится в первый канал и, выходя из него, образует между соплами свободную струю, вызывающую определенный напор в выходном канале.

Рассмотрены два варианта использования струйного принципа электропневматического преобразования сигналов. В первом случае тепловая энергия из электротермического элемента подводится на ламинарном участке струи. Нагревание протекающего в струи воздуха вызывает изменение его удельного веса и уменьшение напора в выходном канале. Электропневматический преобразователь, основанный на таком принципе имеет аналоговое действие.

Во втором случае нагревание осуществляется на турбулентном участке струи. При возрастании температуры изменяется вязкость воздуха и при определенном значении температуры течение становится ламинарным. В этом случае уменьшаются потери энергии в струе и возрастает напор в выходном канале. Действие струйного элемента становится в этом случае дискретным.

## ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ, МЕМБРАННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Генрик Й.Лескевич, Иван Яцевич, Марюш Ольшевский  
Варшавский Политехнический Институт, Польша

В работе обосновано принятие в конструкции принципа несвязанных между собою мембран, принципа обратной силы от воздуха питания а также принципа отсутствия пневматических дросселей. Представлено конструкцию основанную на этих трёх принципах реализующую функцию многовходной дизъюнкции и функцию многовходной "Стрелки Пирса", образующие полную "сверхжесткую" систему удобную для синтеза логических схем.

Для этих типов функции показано одно, двух, трёх и четырёхвходные элементы будущие активными а также показано каким образом через введение добавочного входного сигнала получить функцию конъюнкции.

Показано, что разработана конструкция дает возможность изготовления деталей из пластмасс и позволяет на автоматический монтаж.

Приведены более важные технические данные этих элементов. Представлено результаты лабораторных испытаний следующих статических свойств: зоны переключения, обоих зон уплотнения и обоих зон допусков сигналов. Приведены динамические свойства в виде рассчитанном из лабораторных измерений ответа на скачкообразное возмущение.

## ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОМ СОПРЯЖЕННЫХ ГРАДИЕНТОВ В ПРИМЕНЕНИИ К МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МЕДНОГО КОНВЕРТЕРА

Л.К. Ненонен      Лаборатория систем управления  
Национальный Научно-Исследовательский Совет  
Оттава, Канада.

Б. Пагурек      Университет Карлтон  
Оттава, Канада.

Тепловая энергия, выделяемая в процессе экзотермических реакций конверсии меди, может быть использована для плавления флюсов, применяемых в отражательных печах. Обогащение кислородом воздуха, поступающего в конвертер, сокращает время обработки и улучшает плавление флюсов, но повышает стоимость процесса.

Обсуждается применение метода сопряженных градиентов в функциональном пространстве для определения оптимальной скорости подачи флюсов в калиброванную математическую модель конвертера при различных степенях обогащения воздуха кислородом. Рассматриваются также плавление концентратов флотации в конвертере и влияние изменений параметров конвертера на оптимальные решения проблемы управления конвертера. Математическая модель получена исходя из взаимной зависимости теплового и материального балансов и калибрирована на основе данных действующего конвертера.

Показано, также, как метод сопряженных градиентов в функциональном пространстве может быть применен к проблеме ограниченного управления, в частности, к проблеме с интервалом особого оптимального управления. Найдено, что описываемый метод приводит к более точным оптимальным значениям гораздо быстрее, чем общепринятый метод скорейшего подъема.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕЧИ ПОДГРЕВА-  
СЛЯБОВ

Х.Э.Пайк, Дженерал Илектрик Ко. Скенектайди,  
Нью-Йорк, США.

С.Дж.Ситрэн, Пэдью Юниверсити Ладаут, Индиана, США.

Изучение управления большими системами может часто быть выразительно сформулировано в виде задач динамической оптимизации. Польза от такой формулировки в прошлом однако часто была резко ограничена вычислительными трудностями связанными с решением таких задач. Обещанная новая вычислительная техника для решения проблем динамической оптимизации стала теперь доступной. Эта работа описывает использование такой техники для исследования управления непрерывными печами, которые подогревают стальные слябы для горячих прокатных станов. Среди целей исследования было замкнутое управление конечной температурой сляба и минимизация потребления топлива.

Разработана модель распределенных параметров подогревательной печи. Сочетание с обычными дифференциальными уравнениями описывающими тепловой переходный процесс отдельного сляба, позволило сформулировать задачу управления системой в виде проблемы динамической оптимизации распределенных параметров. Формулировка включает в себя условие ограничения температуры поверхности сляба.

Для решения проблемы динамической оптимизации использована вычислительная техника основанная на второстепенных изменениях. Получено также решение установившегося состояния задачи оптимального управления.

В работе даны выводы из рассмотрения задачи проектирования систем управления подогревательными печами. Предложено управляющее устройство с прямой связью основанное на получении решений для задач установившегося состояния и динамической оптимизации. Показаны результаты моделирования этого управляющего устройства.

## АВТОНОМНЫЙ РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЛИТОВОЙ ДИСТИЛЛИАЦИОННОЙ КОЛОННОЙ.

Г.П.Поллард, Р.В.Х.Серджент.

Докладываемая работа была предпринята с точки зрения развития эффективной численной методики для изучения оптимальной изменяющейся во времени работы нелинейных систем. Частной системой используемой в виде примера была плитовая дистилляционная колонна разделяющая двойную смесь, и при этом была использована очень простая модель для снижения объема вычислительных работ путем пренебрежения термическими и гидродинамическими эффектами. Подробно изучались две проблемы касающиеся запуска колонны требующие достижения определенного рабочего состояния с данного начального состояния в течении минимального времени, или при условии минимальных затрат. Рассмотрена также проблема оптимальной работы в течении синхронизированных периодов.

Минимальное время запуска определяется минимизацией конечной ошибки для нескольких зафиксированных промежутков времени; минимальное время является в таком случае наименьшим временем для которого передаваемая минимальная ошибка находится в пределах определенной точности. Стратегия минимальной стоимости включает в себя минимизацию интеграла оценки взятого в пределах рабочего периода, без или с ограничением конечного состояния. Это ограничение связано с использованием функции штрафа.

После первоначальных неудачных попыток решить двух точечную краевую задачу возникшую из принципа максимума Понтрягина, принятый подход заключался в систематическом улучшении производной оценки управления с помощью градиентных методов, использующих сопряженные уравнения для выработки требуемых производных. Версия метода быстрейшего спуска применяемая к управляющим величинам, дала хорошую первую аппроксимацию оптимальной оценки, однако скорость сходимости стала очень медленной. Методы второго порядка не могут быть использованы по отношению к управляющим величинам потому что для получения удовлетворительной точности необходимо использовать большое число малых временных интервалов. Однако коммутационные стратегии с небольшим числом переключений обычно дают оптимумое преимущество перед результатами метода быстрейшего спуска и они были успешно определены при использовании метода сопряженного градиента Флетчера и Повелла для получения времени переключения. К сожалению методы не могут быть реализованы автоматически и требуются значительные знания определенной части потребителя.

## Управление с обучением полупромышленной дистиляционной колонной.

С.Фуляр

Рассматривается динамическое квазиоптимальное управление дистиляционной колонной. Показатель качества представляет собой прибыль полученную за промежуток времени  $(t_0, t_f)$  :

$$J = \int_{t_0}^{t_f} I dt.$$

$I$  является прибылью на единицу времени зависящей в частности от выходного продукта. Предполагается, что  $I$  возможно измерять.

Не смотря на изменяющиеся помехи и задании /вектор  $\underline{P}(t)$ / вектор управления  $\underline{x}(t)$  должен принимать оптимальные значения  $\underline{x}^*(t)$ , с учетом ограничений.

В работе предложен метод получения, путем обучения, управления  $\underline{x}_D^*(t)$  близкого к оптимальному. Метод не предполагает ни знания ни измерения переменных состояния системы. Он применим когда помехи можно разложить по уровням таким образом, что между каждым изменением уровня колонна переходит в установленный режим. Предполагается также обобщение на случай помех разлагаемых на линейно возрастающие. Предполагается, что оптимальное управление  $\underline{x}^*(t)$  является непрерывным и может быть аппроксимировано суммой экспонент.

В работе приведены результаты моделирования на цифровой вычислительной машине дистиляционной полупромышленной колонны Лаборатории по автоматике в Гренобл. Экспериментальные результаты полученные непосредственно на колонне будут представлены во время конгресса.

## МЕТОД НЕЛИНЕЙНОГО ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

### ПРИМЕНЕННЫЙ К ДИНАМИКЕ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Исследуется вопрос моделирования динамической системы, обладающей одним многопеременным нелинейным элементом или рядом таких элементов, на цифровой вычислительной машине.

Система такая может быть изображена системой дифференциальных уравнений первого порядка, некоторые коэффициенты которых являются переменными.

Численные значения переменных коэффициентов определяются знаниями векторов состояния и на основании естественных законов, определяющих поведение системы.

На основании изучения причинности можно показать, что для вышеописанных систем надо разработать метод воздействия, чтобы разрешить систему вектора состояния.

Допустим, что форма будет выражена:

$$\phi_i(y_1, \dots, y_m) = 0$$

где  $\phi_i(s, \dots, s)$  это нелинейные элементы

а  $y(s, \dots, s)$  это вектор состояния.

Условие, что все функции  $\phi_i$  приведены к нулю, определяет рабочую точку системы. Эту рабочую точку можно найти, пользуясь таким методом, как метод Ньютона-Рафсона.

В практике, каждое выражение  $\phi_i$  это алгебраическая функция вектора состояния и выводится, применяя анализ многопеременной криволинейной регрессии для практического наблюдения за элементом, о котором идет речь.

Динамическая характеристика системы определяется непосредственным интегрированием по времени системы дифференциальных уравнений после решения для рабочей точки системы. Промежуток времени для этой цели выбирается так, что коэффициенты уравнения остаются неизменными во время этого периода, до требуемой степени точности.

Можно записать общую систему правил, чтобы применить настоящий метод к любой системе удовлетворяющей некоторые критерии, причем метод наиболее удовлетворителен для систем, обладающих сравнительно низким динамическим порядком, очень нелинейными многопеременными элементами и работающими в крайне широком диапазоне.

Показано применение системы, пользуясь в качестве примера одновальными или двухвальными газотурбинными двигателями. Приведены результаты, сравнивая поведение истинных и моделированных двигателей.

Метод этот может быть легко приостановлен, чтобы включить больше переменных системы или же, чтобы предоставить более сложное представление некоторых элементов, пока не будет достигнут компромисс между предельной точностью и сложностью моделирования.

Автор: Ч.Денисон

Роллс Ройс Лимитед  
Машиностроительный отдел в Бристоле

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ,  
ОПТИМИЗИРУЮЩАЯ ПРОЦЕСС БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН  
(Тезисы доклада)

профессор Г.С. Черноруцкий

доцент В.А. Цыганков

СССР, г.Челябинск

Сравнительный анализ различных технико-экономических критериев управления процессом бурения позволяет считать оптимальным критерий минимальной стоимости бурения единицы длины скважины, комплексно учитывающий как техническую, так и экономическую стороны процесса. Основным возмущением, приводящим к дрейфу экстремума стоимости бурения, является случайное изменение физико-механических свойств разбуриваемой породы. Наиболее простая структура САУ процессом достигается, если построить разомкнутую самонастраивающуюся систему с нелинейными компенсирующими связями, использующую априорную информацию о процессе. В процессе работы САУ производится непрерывная оценка физико-механических свойств пород, в функции которых устанавливается оптимальное соотношение режимных параметров, обеспечивающее минимальную стоимость бурения.

Как показывает анализ, динамические свойства САУ определяются физико-механическими свойствами разбуриваемой породы и, очевидно, являются существенно случайными. Например, некоторые коэффициенты, характеризующие САУ, меняются в  $40 \div 160$  раз. Таким образом данная САУ является системой со случайными параметрами. Динамические свойства такой системы не могут быть исследованы обычными методами. Для анализа динамических свойств САУ подобного класса предложена специальная методика, позволяющая статистически охарактеризовать динамические свойства САУ. В частности, такие динамические показатели системы, как устойчивость, запасы устойчивости, ограничение частоты колебаний переходного процесса и т.п. определены по их вероятностям.

В докладе приводятся также материалы промышленных испытаний разработанных САУ бурения скважин.

Оценка параметров разностного уравнения инерционной системы по экспериментальным данным.

В. Петерка, К. Шмук

В докладе предлагается метод оценки коэффициентов разностного уравнения линейной инерционной системы. Для этой оценки имеется в распоряжении конечная последовательность измеренных значений выходного и входного сигналов. Предполагается, что к выходному сигналу суперпонирован шум  $\varepsilon(t)$ , некоррелированный с входным сигналом. Математическое описание шума может зависеть от времени, но предполагается, что эту зависимость (дрифт) возможно в данном интервале наблюдения выразить с помощью полинома

$$E\varepsilon(t) = \sum_{i=0}^{\nu} c_i t^i$$

где  $c_i$  неизвестные коэффициенты и  $\nu$  достаточно мало. Знание остальных статистических характеристик шума не требуется.

Метод использует алгорифм для линейного регрессионного анализа при нарастающем количестве данных. Этот алгорифм описан в разделе 3 (включая процедуру на языке АЛГОЛ-60). Алгорифм может быть использован тоже для других целей. Его преимуществом является, что входные данные обрабатываются постепенно (on-line) и требуемый объем памяти не зависит от количества обрабатываемой информации. Алгорифм сохраняет всю нужную информацию о прошлом исследуемого процесса в концентрированном виде, так что не надо запоминать предыдущие данные.

Метод для оценки коэффициентов разностного уравнения инерционной системы описан в разделе 4. Метод обладает следующими свойствами:

- а) Он способен работать в прямой связи с процессом и требуемый объем памяти не зависит от длины интервала наблюдения.
- б) Оценки получаются с помощью конечного количества вычислительных операций. В отличие от знакомых методов не используются итерации так что здесь нет трудностей с сходимостью и локальными экстремумами.
- в) В каждый момент времени (начиная с определенной минимальной длины наблюдения) можно получить оценки для всех до того времени обработанных данных.

СИНТЕЗ ВХОДНОГО СИГНАЛА ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ  
ПАРАМЕТРОВ

Масанас Аоки Р.М.Стейлей

Дипартмент оф Инжиниринг Юниверсити оф Калифорния  
Лос Анжэлес

Этот доклад затрагивает проблему проектирования последовательности входных сигналов упрощающих измерение параметров оценки ошибки в автономных системах идентификации. Динамическая система описана -го порядка дифференциальным уравнением скалярных входных и выходных переменных при известной входной величине и измеряемых на выходе помехах.

В основной части доклада неизвестные параметры рассматриваются скорее как постоянные, чем как случайные переменные. Входной сигнал выбирается путем максимизации информативной матрицы Фишера, при условии, что энергия сохраняется на входе или выходе системы. Завершенные аналитические решения даны для простого случая одного параметра. Возможность упрощения процедуры дает применение матриц Топлица. В последней части доклада оговаривается распространение теории на случай, когда параметры рассматриваются как случайные переменные с известной вероятностной функцией распределения.

Линейное вычисление параметров процесса и их применение с системе настраиваемого управления.

М.Нишимура

К.Фужи

Н.Сузуки

Инженерный Факультет, Университет Осака.

Этот доклад занимается методом вычисления параметров процесса дорогой линейной разработки данных. Реакция коэффициентов /параметров/ импульсов неизвестного процесса определяется методом взвешенных наименьших квадратов.

Сначала разясняется генеральный принцип вычисления. Дальше говорится о статистической натуре вычислений и вводится идея эквивалентных данных.

Некоторые из существующих процессов не имеет само-регулирующих характеристик. Для таких процессов показано расширение процедуры вычислений.

Добавочно, показано вычисление процессов медленно изменяющихся техникой моделирующей вычислительной машины.

Окончательно, показано пример настраиваемого управления.

## АЛГОРИТМЫ АДАПТАЦИИ ДЛЯ ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ

К.Г. Оуза, Е.И. Джузэри

Электрикал Инжиниринг Компьютер Сайнсиз ёнд Электроникс

Рисерч Лэборатори Юниверсити оф Калифорния Берклей

Калифорния

Данная работа затрагивает проблему идентификации систем характеризующихся определенными параметрами. Представлен итерационный метод для определения этих параметров на основе иска-  
женных шумовых данных вход-выход.

Проблема определяемых параметров дискретной системы с одним входом и одним выходом сведена к решению системы обратных уравнений. Уже найденные некоторые корреляционные функции появляющиеся в виде коэффициентов этих уравнений состоят из данных вход-выход и их конвергенции с вероятностью установленной согласно результатам анализа временных серий. Представлен алгоритм, который аппроксимирует с некоторой вероятностью решение обратного уравнения и конвергенции.

Данный подход, рассмотренный для случая линейных систем, распространяется также и на нелинейные системы. Отображающая модель Хемерштейна получена с помощью обратных уравнений удовлетворяемых системой найденных параметров.

Рассмотрены примеры линейных и нелинейных систем и в каждом случае получены конвергенции с приемлемым числовым приближением.

---

Проведение исследований поручили Зар Форс Оффис оф Сайентифик Рисерч, Оффис оф Зарспейс Рисерч, ВВС США; АФ-АФОСР-292-67.

## СРАВНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ СХЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА

A.J.W. van den Boom,

J.H.A.M. Melis.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ В ЭЙНДХОВЕНЕ  
ОТДЕЛ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ  
НИДЕРЛАНДЫ

### выдержка

В этой статье рассматриваются некоторые основные проблемы в области оценки параметров процесса особенно относительно неопределенности в оценке, вызванной аддитивными шумами и приближенными структурами моделей.

Два основных приближения, т.е. употребление эксплицитных математических отношений и техника согласования моделей, теоретично сравниваются в отношении к точности как функция интервала наблюдения.

В некоторых положениях оба метода, из которых каждый требует инверсии матрицы, могут быть достаточно приближены употреблением неортогональной схемы оценки без инверсии матрицы.

Приведена выдержка рассмотрения относительно аддитивных ошибок от приближения идеального процесса оценки.

МЕТОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ  
ЧИСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ.

Питер К. Янг

Нейвел Випонс Сентер

Чайнэ Лейк, Калифорния, США.

В последние годы привлекает внимание проблема отклонения параметров процесса от действительных значений. Появились различные методы начиная от объемистых детерминистических методик кончая уточченными статистическими методами, основанными на результатах применения теории оптимальных оценок. Метод инструментальных переменных (и.п.) оговоренный в общих чертах в данной работе, задуман как компромисное решение между этими двумя направлениями; Он базируется на классической статистической теории, однако не требует априорной информации о статистике сигнала и помехи.

В работе описываются и.п. касающиеся данной проблемы и в общих чертах оговаривается развитие простых цифровых алгоритмов оценки. Обсужден также вопрос того, как выбор входного сигнала и вида математической модели может влиять на возможности идентификации процесса. В заключение приведены числовые экспериментальные данные включая в это иллюстрацию практического осуществления этого особого подхода к процессу идентификации.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВОДОНОСНОГО СЛОЯ  
БОЛЬШОГО РАЗМЕРА.

Д. А. Висснер, Р. Л. Перайн, И. И. Хеймс.

Департмент оф Инжениринг Юниверсити оф Калифорния.

Лос Анжелос, Калифорния, США.

Распределение давления в подземных резервуарах воды моделируется с помощью дифференциального уравнения в частных производных, параболического типа, с переменными в пространстве коэффициентами. Распределенные параметры накопления и пропускемости идентифицируются минимизацией нормы зависящей от наблюдений и от модели отображающей давление. Эти распределенные параметры аппроксимируются "усредненными" величинами функций дискретных частей резервуара. Таким образом число параметров, которые мы должны идентифицировать, может быть значительным.

В этом докладе рассмотрены две разные модели для подземных резервуаров. Схема идентификации, основанная на методах декомпозиции, отображает процесс идентификации неизвестных параметров. Важным для будущего этой области идентификации является то, что в этом процессе автоматически определяются поверхности резервуара обладающие одинаковыми "усредненными" свойствами. Таким образом разбиение резервуара на пространственные области выполняется согласно параметрам идентификации. Метод основан на концепции декомпозиции и многоуровневой оптимизации и расчетан в особенности на применение к рассмотренным многоразмерным системам.

Теоретическое развитие схемы идентификации дано для каждой

системы содержащей модели. Приведен числовой пример и проиллюстрирован на результатах эффект "моделирования". В добавок проведен цифровой машинный алгоритм и даны числовые результаты.

Эрик Даклен Жан Поль Перен  
Николь Брео Мишель Денует  
Ц.Е.Р.А. - Париж - Франция

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯРНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ К СИНТЕЗУ СЕКАНСИЕЛЬНЫХ АССИНКРОНОВЫХ СЛОЖНЫХ МАШИН

Проблемы реализования секансиельных, асинхроновых машин поставляются в общем виде в индустрии для машин имеющих многосотные количество бинарных входов и выходов. Тем более что их постройка реализуется при помощи интегрированных приборов выполняющие сложные логические функции.

Эти оба свойства приводят к большим трудностям ввиду синтеза и поправки машин.

Когда лелается синтез, тогда очень трудно употреблять классические методы /например метод Уфтала/ и когда нужно разыскивать дефективный прибор, его почти невозможно найти.

Объект этого коммюнике есть улучшение метода синтеза, поставленное на регулярных выражениях чтобы победить эти трудности.

В первой части авторы указывают некоторые изменения какие они сделали в методе Глустикова чтобы получить простую таблицу.

Бо второй части, они объясняют как можно детектировать возможное параллельное разделение машин.

И на конце, один простой пример иллюстрирует вышеуказанные методы.

Метод для минимизации числа состояний автоматов  
с учётом технических особенностей при синхронных  
и асинхронных режимах

Х.-И. Цандер  
Немецкая Академия Наук  
институт для техники регулирования и управления  
в г. Дрездене, ГДР

В технике управления и вычисления используются различные виды синхронных и асинхронных автоматов. Однако, для минимизации числа состояний асинхронных автоматов методы, особенно разработанные для синхронных автоматов, являются не пригодными.

В настоящей работе рассматриваются отдельные синхронные и асинхронные автоматы с общей точки зрения и учитываются их технические особенности при математическом описании. При минимизации числа состояний особенности отдельных автоматов найдут выражение в различных условиях несовместимости их состояний. По этим условиям можно найти алгорифм для определения всех пар безусловно и условно несовместимых состояний при помощи таблиц переходов. Исходя от того разрабатывается метод систематического определения всех минимальных коллекций классов совместимости для любых видов автоматов.

При помощи различных условий несовместимости можно сопоставить вообще все виды синхронных и асинхронных автоматов относительно их минимальному числу состояний, необходимому для исполнения определенного задания.

## АСИНХРОННАЯ МОДЕЛЬ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА

(тезисы доклада)

Э.А.Якубайтис, доктор технических наук, профессор

г.Рига, СССР

Рассматривается асинхронная модель конечного автомата, построенная на логических элементах, каждый из которых имеет внутреннюю задержку, и фильтрах, включённых в замкнутые контуры обратной связи. Величины внутренней задержки логического элемента и задержки фильтра являются случайными функциями времени с любыми заданными ограничениями по максимуму и минимуму. Указанная модель хорошо отображает характеристики реальных устройств, работающих как конечные автоматы. Её частным случаем является широко известная модель с безынерционным преобразователем и задержками в цепях обратной связи.

На основе рассматриваемой модели даётся методика определения всех безыбыточных систем уравнений, обеспечивающих построение структурной схемы конечного автомата, свободной от опасных состязаний любого вида. При этом обеспечивается максимальное быстродействие конечного автомата. При введении критерия выбора из полученного множества систем можно отобрать оптимальные системы. Наиболее легко эта задача решается при необходимости минимизации памяти конечного автомата.

Веслав Трачук /Польша/

## ПОЛНАЯ МИНИМИЗАЦИЯ ЧИСЛА СОСТОЯНИЙ В АСИНХРОННЫХ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТАХ

Работа представляет относительно простые методы минимизации числа внутренних состояний в асинхронных конечных автоматах. Эти автоматы делятся на две группы: статические и динамические. В первых используется для минимизаций множество псевдоэквивалентных состояний, пригодность которых определяет специальный критерий. В результате получаются минимальные таблицы, которые описывают схему с потенциальными сигналами.

Динамические автоматы обсуждаются как следующий этап упрощения. Уменьшение числа состояний получается определением связных состояний и введением динамических зависимостей, реализованных импульсными сигналами.

Применение описанных методов дает возможность получить совершенно новые схемы, во многих случаях более простые, чем в традиционных методах синтеза.

## Эвристические методы структурного синтеза релейных устройств.

М.А.Гаврилов. Член-корр.АН СССР

Институт автоматики и телемеханики

Москва

СССР.

Особенности современных задач синтеза релейных устройств, а именно: усложнение структурных свойств элементов и значительное увеличение "объемов" релейных устройств, требует существенного пересмотра существующих методов синтеза и значительного развития теории релейных устройств.

В настоящее время наиболее развиты и теоретически обоснованы методы синтеза, дающие реализацию структур релейных устройств на элементах: "И", "ИЛИ", "НЕ". Методы получения т.н."абсолютно минимальных" реализаций основаны на переборе и уже для числа переменных в одновыходных структурах порядка 10-12 практически неосуществимы даже на УВМ. В то же время в современных практических задачах число входо-выходов доходит до нескольких сотен.

В докладе рассматриваются методы "направленного" поиска оптимальных реализаций структур, заключающиеся в том, что на каждом из этапов синтеза из всех возможных вариантов дальнейших этапов выбирается при помощи соответствующих оценок некоторый вариант, обеспечивающий реализацию структуры, близкую к оптимальной. При этом в дереве решений выбирается лишь один путь, что существенно снижает громоздкость вычислений. В докладе описываются два метода направленного поиска, разработанные автором совместно с инж. В.Копыленко.

Первый метод удобен для элементов с симметричными и упорядоченными входами и т.н."характеристическим числом = 1. Направленный поиск в нем осуществляется при удалении несущественных переменных/критерий близости креализации одной буквой/ и при выделении неизбыточного подмножества недостаточных минимальных членов/асимптотический критерий для оценки недоопределенных функций/. Второй метод пригоден для любых элементов. Направленный поиск осуществляется здесь при выборе оптимальной последовательности заполнения входов/критерий минимума т.н."жестких предписаний"/ и при выборе оптимальных переменных, подаваемых на входы.

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ АВТОМАТИЗАЦИИ СИНТЕЗА КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

Д.Б.Шишков  
/София, Болгария/

В докладе рассматривается подход автоматизации оптимального синтеза конечных автоматов, который включает класс алгоритмов, основанных на структурном языке, представляющем алгебраический эквивалент известных языков таблиц переходов и выходов и графов Мили и Мура. Предложенные алгоритмы имеют аналитический характер, позволяют проводить в процессе синтеза единую оптимизационную линию, приложим к достаточно широкому классу конечных автоматов, а их эффективность сравнима или превышает эффективность известных аналогичных алгоритмов.

Предложенный подход характеризуется высокой степенью формализации, удобством при инженерных расчетах и при автоматизации с помощью ЭЦВМ.

## ГОМОМОРФИЗМЫ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Пьер Тисон

Сан-Авольд, Франция

В настоящем докладе применена комплексная алгебра логики для определения гомоморфизмов и кодирования последовательных машин.

В принципе, для каждой пары рядов переходной таблицы машины определена булевая переменная, значение которой при наложении рядов составляет в одном случае 1, а в другом - 0. Составление этих первичных переменных создает обобщенную логическую переменную, аргументы которой воспроизводят определенную произвольность наложения рядов вычислительного стола.

Главным образом определяются групповые переменные для обозначения условий неизбежно возникших из предложенных мест наложений. Для каждой последовательной машины создается из этих двух переменных логическая функция, которую можно рассматривать при помощи классических алгоритмов в булевой комбинаторике.

Исходя из переходной таблицы, очень легко можно найти первообразный базис этой функции и затем можно ее полностью построить после определения простых звеньев. Некоторые выражения воспроизводят гомоморфические

изображения переходной таблицы. Даётся объяснение алгоритма ведущего непосредственно к этим звенам.

Для исследования кодирования можно применять переменные нескольких величин. Будущее значение переменной кодирования зависит от мгновенного состояния машины, а также от состояния входа машины. Из данного кода определяется переменная кодирования, если ее будущее значение можно безошибочно определить в зависимости от переменного мгновенного значения кода и входных значений машины.

Исходя из элементов второго кода, очень просто найти возможности абсолютно необходимых определений каждой переменной. Эту информацию можно периодически воспроизвести, что дает возможность определения приближенных данных трудности кодирования без необходимости вычислительного решения соответствующих уравнений. Эта информация представляет также главные свойства машинной структуры: разложение, симметрия, эквивалентности, датчик импульсов, . . . .

Число переменных кодирования можно сократить, принимая следующее предположение: по всей вероятности главнейшие кодирования ведут к группировке, которая не содержит необходимого условия нулевой группировки. Вычисления просты и ведут очень быстро к упрощенным решениям. Имеется возможность графически выбирать главное кодирование, которое ведет к простой структуре.

РАСПОЗНАВАНИЕ ПОЛНОЙ ИЛИ ЧАСТИЧНОЙ СИММЕТРИИ ПОЛНОСТЬЮ  
ИЛИ ЧАСТИЧНО ОПРЕДЕЛЕННЫХ ФУНКЦИЙ АЛГЕБРЫ ЛОГИКИ

Рышард С. Михальски  
Институт Автоматики  
Польской Академии Наук  
Варшава, ПОЛЬША

В работе описан метод распознавания полной или частичной симметрии в отношении к буквам (прямым или инверсным переменным) полностью или частично определенных функций алгебры логики (одно- или многовыходных). В методе реализуется новый подход основан на использовании некоторой двухмерной топологической модели функции алгебры логики, называемой образом функции  $T(f)$ . Благодаря применении этой модели метод легко реализуется так вручную (при  $n \leq 6 - 8$ ) как и при использовании ЭВМ.

ДВА ПРИНЦИПА КООРДИНАЦИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В БОЛЬШИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ.

М.Д.Мисарович, Д.Мако, И.Такахара.

Ризерв Юниверсити Кливленд, Огайо.

Два принципа координации сформулированы согласно доступным материалам по некоторым структурам много-уровневых(иерархических) систем управления. Первый принцип основан на итерационном предсказывании, второй на итерационном балансе. Оба даны в пределах теории основных систем с учетом широкой области их применения. Достаточные условия для успешного применения принципов приведены для двух-уровневых систем определенных в нормализованном линейном пространстве. Дано несколько примеров двухуровневых систем для иллюстрации требуемых условий.

# ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ БОЛЬШИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Роман Куликовски

Институт Автоматики  
Польской Академии Наук  
Варшава, ПОЛЬША

Статья посвящена оптимизации децентрализованных больших динамических систем, таких например как комплексная энергетическая система, система производства и распределения газа, система разделения воды в масштабе всего государства и.т.п.

Представленный метод основан на декомпозиции оптимизированной системы в виде системы со структурой с двумя уровнями. Локальные регуляторы (I-го уровня) реализуют динамическую оптимизацию простых подсистем. Эти регуляторы передают данные локальных оптимизаций регулятору высшего уровня (II-го уровня), который с помощью градиентного метода вычисляет новые значения уровней ограничений. Эти значения передаются обратно к локальным регуляторам. Таким образом получается итеративный процесс оптимизации.

Рассмотрен ряд обобщений этого метода. Рассмотрено применение предложенного метода к оптимизации комплексной системы содержащей тепло- и гидро- электростанций.

## ПРИНЦИП ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Первозванский А. А.  
профессор, Политехнический институт  
Ленинград, СССР

Рассматривается задача построения оптимального плана для системы, состоящей из конечного числа элементов с произвольной, но фиксированной структурой связей между ними. Каждый элемент осуществляет производство некоторой совокупности продуктов, поставляемых как на выход системы, так и другим элементам, использующим их в качестве ресурсов.

Интенсивность использования возможных производственных способов элементов системы ограничена как уровнем поставляемых ресурсов, так и собственными ограничениями. Под принципом децентрализации планирования подразумевается следующее: задача оптимизации системы в целом должна быть расчленена на ряд экстремальных задач для каждого из элементов системы, независимых в том смысле, что для их взаимного согласования не требуется прямой информации о характере ограничений по собственным ресурсам. Описывается ряд способов расчленения и интерактивных процедур согласования локальных функционалов. Основное внимание уделяется наиболее изученным простейшим структурам с параллельными и последовательными связями. Некоторые приёмы удается перенести на системы с общим видом связей. Основным приемом является преобразование исходной задачи в совокупность локальных задач линейного программирования со свободными параметрами, для выбора которых требуется решать "центральную" задачу нахождения экстремума неявно заданной выпуклой функции. Последнее осуществляется с помощью разного рода модификаций метода возможных направлений, учитывающих факт недифференцируемости функций цели в некоторых точках.

Обсуждается вопрос о связи задач децентрализации планирования и управления.

## СИНТЕЗ МНОГОУРОВЕННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Андрей Страшак

Институт Автоматики  
Польской Академии Наук  
Варшава, ПОЛЬША

Размерность современных задач автоматического управления в последнее время быстро растёт, в связи с тем многоуровневые системы управления играют большую роль в теории и применении автоматического управления. Синтез многоуровневых систем управления существенно отличается от синтеза обычных систем управления и методы обычной теории управления неприменимы.

В работе предлагается один метод подхода к задачи синтеза многоуровневых систем управления. Применяя описание многоуровневых систем при помощи функции сложности предлагается метод нахождения допустимых и наилучших структур управления.

## О ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

А.И.Кухтенко

Институт кибернетики АН УССР

Киев

СССР

(Тезисы доклада)

В докладе дан обзор некоторых основных направлений развития теории управления сложными системами.

Обращено внимание на существование единой концепции в построении теории конечных автоматов и динамической теории управления, а также на необходимость и возможные пути развития теории логико-динамических систем. Особо отмечена значимость исследований, связанных с большой размерностью сложных систем. Оригинальная часть доклада посвящена изучению симметричных сложных систем на основе теории представлений групп. Приведен пример использования методов теории представлений групп для изучения симметричной колебательной механической системы, являющейся объектом управления.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-  
ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ТЕСТОВ ДЛЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ  
ОДНОРОДНЫХ СТРУКТУР

И. В. Прангшивили, В. В. Игнатущенко

Институт автоматики и телемеханики  
/технической кибернетики/

Москва, СССР

Однородные настраиваемые универсальные структуры являются одним из наиболее перспективных средств реализации на интегральных схемах /особенно на БИС/ цифровых устройств автоматики, телемеханики и вычислительной техники.

Контроль исправности и диагностика неисправностей любой, схемы, реализованной в однородной структуре, весьма упрощается по сравнению с контролем обычных нерегулярных схем, так как сводится к проверке /на контрольных и диагностических тестах/ однотипных функциональных ячеек структуры с регулярными связями. Исследована методика и разработаны два способа построения таких тестов. Определены специальные типы тест-наборов /совместимые, сопряженные/, которые могут быть применены одновременно ко всем ячейкам структуры или к определенной части общего числа их /независимо от размера структуры/; время проверки однородной структуры на этих тест-наборах /число рабочих тактов/ слабо зависит или не зависит совсем от числа ячеек /размера/ структуры.

Показано, что контроль мажоритарной решетки, универсальной в классе переключательных функций, осуществляется за 5 рабочих тактов при любом размере структуры; диагностика каждой неисправности выполняется за один дополнительный такт. Контроль однородной структуры, универсальной в классе конечных автоматов, выполняется за 22 такта при любом размере структуры, т.е. независимо от сложности автомата, реализуемого в этой структуре.

А.Ф. Волков, В.А. Веденников (Москва),

В.А. Петров (Ленинград)

### 33.2. О ПОСТРОЕНИИ ПРОВЕРЯЮЩИХ ТЕСТОВ ДЛЯ МНОГОТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ БЕЗ ЭЛЕМЕНТОВ ПАМЯТИ

Теоретические основы построения проверяющих и диагностических тестов при их непосредственном распространении на многотактные дискретные устройства приводят к громоздким и трудоемким способам. Использование блочных методов синтеза проверяющих тестов с учетом направленности действия бесконтактных элементов позволяет разработать более эффективные методы построения проверяющих тестов.

Рассмотрены вопросы блочного синтеза и минимизации тестов, гарантирующих обнаружение неисправностей одного из элементов многотактного устройства. Исправность всех элементов устройства, кроме одного  $i$ -го, дает возможность определить условия, при которых об отказе  $i$ -го элемента можно судить по изменению переменных на одном или нескольких выходах устройства. Сочетание этих условий и проверяющего теста  $i$ -го элемента образует набор элементарных тестов  $\tau_{i_1}, \tau_{i_2}, \dots, \tau_{i_k}$ , проверяющих функционирование  $i$ -го элемента по выходам всего устройства.

Наличие  $M$  внутренних состояний многотактного устройства приводит к тому, что перед началом проверки  $i$ -го блока устройство будет находиться, как правило, в состоянии  $S_{j_1}, \dots, S_{j_k}$ , отличном от того состояния  $S_{i_1}, \dots, S_{i_k}$ , которое необходимо для реализации элементарных тестов  $\tau_{i_l}$ .

$\tau_{i_1}, \dots, \tau_{i_k}$ . В результате перед началом каждого из тестов  $\tau_{i_1}, \dots, \tau_{i_k}$  нужно подать некоторую последовательность входных наборов  $P_{i_1}(x_1, \dots, x_m), \dots, P_{i_k}(x_1, \dots, x_m)$ , переводящую устройство из состояния  $S_{j_\ell}$  в состояние  $S_{i_\ell} (\ell=1, 2, \dots, k)$ .

В работе приведен алгоритм упорядочивания процесса проверки неисправностей различных элементов, гарантирующий получение полных проверяющих тестов многотактного устройства. Алгоритм основывается на свойствах элементов, вхо-

дящих в проверяемую цепь. Длина получающихся тестов достаточно близка к оптимальной.

Применение данного алгоритма и предлагаемого способа построения проверяющих тестов проиллюстрировано.

В настоящее время этот метод построения тестов машинизируется.

П.П.Пархоменко

/Москва/

### 33.1. ТЕОРИЯ ВОПРОСНИКОВ И ЗАДАЧИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Имеется конечное множество  $E$  из  $N$  элементов /событий/; каждому событию  $y_i$  приписано положительное число  $W(y_i)$ , называемое весом события. Задано также множество  $T$  разбиений множества  $E$  на классы; элементы из  $T$  называются вопросами; каждому вопросу  $t_j$  приписано положительное число  $c(t_j)$ , называемое ценой вопроса.

Поставить один вопрос-значит реализовать соответствующее ему разбиение множества  $E$ . Признаки, по которым выделяются классы событий при разбиении, называются ответами на поставленный вопрос. Число ответов  $a(t_j)$  вопроса  $t_j$  называется его основанием.

Целью постановки вопросов является распознавание событий  $y_i \in E$ , то есть получение разбиения  $E$  на  $N$  одноэлементных классов.

Совокупность вопросов из  $T$  и последовательности, в которых эти вопросы поставлены для идентификации  $N$  событий множества  $E$ , называется вопросником. Главным предметом исследований теории вопросников является решение следующей задачи: построить вопросник, обладающий минимальной средней ценой определения одного события.

В докладе исследованы свойства оптимальных вопросников общего вида при неодинаковых весах событий, ценах и основаниях вопросов. Даны правила преобразования заданного вопросника в оптимальный.

Проведена классификация вопросников. Наиболее простыми являются вопросы, у которых основания и цены вопросников одинаковы, а множество  $E$  представляет собой полную систему событий. Эти вопросы изучались Пикаром. В докладе исследованы вопросы с неодинаковыми основаниями и одинаковыми ценами вопросов, вопросы с одинаковыми основаниями и неодинаковыми ценами вопросов, а также вопросы общего вида, для которых даны алгоритмы построения оптимальных вопросников.

На языке вопросников сформулированы задачи кодирования диагностики неисправностей технических устройств, синтеза структур комбинационных релейных устройств и др. Основное внимание уделено задачам построения оптимальных условных диагностических программ.

## ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ КОНТРОЛЯ НА НАДЕЖНОСТЬ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ УСТРОЙСТВ

Гаркави А.Л., Гоголевский В.Б., Грабовецкий В.П.  
Научный совет по проблемам надежности АН СССР,  
Москва, СССР.

В докладе рассматриваются некоторые методы определения характеристик надежности контролируемых восстанавливаемых устройств. Предлагаемые методы используются для решения двух групп задач.

Первая группа задач связана с изучением характеристик надежности эпизодически работающих устройств /по вызову/. Предполагается, что контроль работоспособности этих устройств осуществляется либо через случайные промежутки времени, либо периодически через равные промежутки времени. При этих условиях определяется вероятность  $P(\tau, t)$  того, что устройство будет исправным в произвольный момент времени  $t$  и безотказно проработает в течение промежутка времени  $\tau$ . Решение дается для нестационарного и стационарного случаев.

Вторая группа задач связана с изучением характеристик надежности устройств /в частности, устройств переработки информации/, на которые чекладывается требование переработать информацию определенного объема  $V$  за время  $t$ . При этом предполагается, что время, отводимое на переработку информации, превышает минимально необходимое для этой цели время и цикл переработки информации разбивается на этапы. В конце каждого этапа осуществляется тем либо иным способом проверка правильности результатов переработки информации на этапе.

При этих условиях определяются следующие характеристики надежности устройств: вероятность  $P_v(v, t)$  переработки информации объема  $V$  за время  $t$  при разбиже цикла на  $Z$  этапов; математическое ожидание  $M[T]$  времени  $T$ , затраченного на переработку информации объема  $V$  при разбиже цикла на  $Z$  этапов; оптимальное число этапов  $Z_0$ , на которое надо разбить цикл переработки информации  $V$ , чтобы величина  $M[T]$  была минимальной.

## СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕКОТОРЫХ ЦЕЛЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЗАДАННЫМИ ВЕЛИЧИНАМИ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Д.С. Шеринг

Отдел МПС Европейской организации ядерных исследований  
Женева, Швейцария

Сопоставлены качества четырех экстремальных регуляторов связанных с одним и тем же объектом регулирования. Объект регулирования отличается непрерывными регулируемыми величинами, параболической характеристикой экстремума, шумами движений Брауна входных величин и белым шумом выходной величины. Качество регулятора описывается безразмерной величиной, которая определяется таким образом, что из этого вытекает оптимальный регулятор.

Рассматривались регуляторы следующих типов: работающие с синусоидальной величиной возмущающего воздействия, работающие с прямоугольной величиной возмущающего воздействия, работающие с прямоугольной величиной воздействия и с воспроизведением а также квазиоптимальные с запоминающим элементом.

Качество первых трех типов регуляторов определяется функцией частоты величин возмущающего воздействия; показано, что наивысшее качество получается при бесконечной частоте величин возмущающего воздей-

ствия. В таком случае качество этих трех регуляторов равно качеству квазиоптимального регулятора.

Качество первых трех типов регуляторов увеличивается асимптотически с возрастающей частотой предварительно заданной величины возмущающего воздействия; таким образом удовлетворительное качество достигается также при конечной частоте величин возмущающего воздействия. Благодаря этому полученные результаты можно применить к практическим объектам регулирования со слишком небольшим замедлением.

В докладе доказывается, что первых два типа регуляторов обладают более высоким качеством, чем регулятор с воспроизведением и с запоминающим элементом. Этот последний регулятор характеризуется более простой конструкцией и требует меньше сведений о регулируемом объекте.

Надежность и безотказность электро-механического оборудования  
для автоматического управления турбогенераторами

Т.А. Веселовский Лоу

Лаборатории Британского Центрального Энергетического  
Управления в Лэдсерхэд, Суррей, Англия

В статье рассматриваются надежность и безотказность регулирующего воздействия некоторых электронных и электро-механических устройств, примененных при опытном автоматическом управлении энергосистемами. При этом применялся 31 авторегулятор турбогенераторов в течение 18-ти месяцев. Регуляторы сконструированы с особым упором на количественную надежность работы. Предсказанные при проработке средние интервалы между отказами авторегуляторов (26 000 ч) и прогноз для совершенного варианта (7300 ч) сравниваются с действительно полученной величиной (5740 ч). Представляются данные об элементах, являющихся основой предсказаний надежности.

Расчитывается коэффициент готовности оборудования, основанный на надежности и ремонтных периодах, и обсуждается его уместность к расчету экономичности оборудования.

Влияние дублирования узлов анализируется математически. Показано, что при несущественных изменениях контуров, переключающих дублированные узлы, снижается в два раза риск отказа основных элементов авторегуляторов. Примененные методы математического анализа являются уточнением обычно применяемых и имеют общую справедливость.

## СРАВНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ МНОГОКРАТНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

### СВОДКА

Когда требуется очень высокая надежность в режиме работы контрольной системы (например, в системе автопилота, употребляемой для автоматической посадки), часто употребляется некоторая форма многократного режима работы.

Проблемы многократного режима работы могут быть делены на две главные области: выбор соответствующего выходного сигнала и выбор соответствующего критерия для устранения поврежденных органов или подканалов.

Выбор окончательной выходной системы из комбинации подканалов (например, среднего канала, медианного канала или подканала с ближайшим к самому большому или самому малому выходу) должен быть сделан так, чтобы доводить до минимума расстройство выхода, случающееся от неточностей, которые могут существовать без причинения необходимости выключить подканал.

С целью избежания опасно больших расстроиств выхода (скажем, для самолета в случае автоматической посадки), необходимо разъединить подканал многократной системы, если в нем случается ошибка. Это может быть выполнено, автоматически сравнивая номинально идентичные сигналы, выведенные из различных подканалов, и предпринимая соответствующее действие, если они (сигналы) различаются на большую величину, чем это допустимо.

Вследствие того, что эти сигналы практически будут различаться на определенную величину, в результате допустимых отступлений в процессе изготовления, допускается возможность раздражительных выключений, случающихся по такой причине.

Желательно сконструировать такую систему, чтобы процент нежелательных выключений правильного подканала был бы низок и в то же время высокая вероятность выключения правильного подканала, если случается подлинная, неподделанная ошибка (например, выход из под контроля одного сигнала).

В этом докладе сравниваются некоторые методы многократного режима работы с точки зрения, данной выше.

М.Д. Климовицкий, В.В. Наумченко, А.Б. Челюсткин  
/Москва/

## 10.2. ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА СЛЯБАМИ И УЧЕТА РУЛОННОЙ ПРОДУКЦИИ НА НЕПРЕРЫВНОМ СТАНЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Одной из наиболее важных задач управления станом с применением управляющей вычислительной машины /УВМ/ является создание системы слежения за слябами и учета рулонной продукции, так как именно из этой системы поступает вся необходимая информация для работы УВМ в системе перестройки стана, управления нагревом слябов и т.д.

Для решения задачи слежения за слябами составляется на определенный промежуток времени программа работы цеха. Эта программа вводится в УВМ. При поступлении слябов на загрузочный рольганг производится их идентификация. На основании разработанных алгоритмов осуществляется слежение за каждым слябом по мере продвижения его по загрузочному рольгангу через нагревательные печи и отдельные участки стана вплоть до выхода готовой рулонной продукции. Алгоритмы разработаны для отдельных технологических участков с согласованием входов и выходов между участками.

УВМ решает также задачу сбора и регистрации данных о прокатываемой полосе, что позволяет обеспечить каждый рулон карточной сопровождения. В этой карточке содержится вся необходимая информация о качественных и количественных характеристиках рулона: номер плавки, марка стали, размер сляба и полосы, классификация полосы по толщине, ширине и температуре и др.

Для определения положения слябов, раскатов и рулонов на технологической линии стана используются фотодатчики, мессодозы и реле активного тока прокатных двигателей, а также сигналы из схем управления различными механизмами.

Данные о прокатываемой полосе и технологическом режиме прокатки вводятся в УВМ от датчиков технологического режима, установленных на стане.

В качестве УВМ в системе используется модель М-2000 АСВТ, которая, кроме решения задач слежения за слябом и учета продукции, будет в дальнейшем использована для управления механизмами стана. Для повышения надежности системы слежения и учета решено осуществить резервирование входных и функциональных устройств системы. Резервирование входных устройств достигается установкой в каждом месте определения положения металла двух-трех датчиков. Резервирование функциональных устройств достигается установкой специализированной вычислительной машины, которая будет работать параллельно с М-2000 и осуществлять лишь функции слежения и учета.

Разработана карта входных и выходных, а также и внутрисистемных информационных потоков. Подробное описание системы позволяет получить требования к рабочим характеристикам функциональных узлов и блоков системы.

Приводится блок-схема части системы со специализированной УВМ.

Д.Й.Фалиано

Е.Ухлен

Автоматизация прокатного стана  
в Окселозунд Иернверк

Моностандный реверсивный стан в Окселозунд Иернверк /Oxelosund Jaernwerk/ начал применять вычислительную машину для контроля рано в 1968 году. Система употребляет 1,6 микросекундный 96000 слов центральный процессор в исполнении обширного ряда контрольных функций, многие из них впервые в таком применении. Главная цель была: лучший контроль окончательных размеров листов, чтобы позволить 2% снижения количества материала в год. Статья дает краткий обзор системы конфигурации и главных функций. Операционные результаты первого года производства даны детально, подчеркивая точность ширины и толщины листов. Организация снабдителей и потребителей описана, а также соответствующие изменения в операции потребителей.

УПРАВЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ТЕМПЕРАТУРОЙ НАМОТКИ В ГОРЯЧЕМ ЛИСТОВОМ ПРОКАТНОМ СТАНЕ - СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.

Акинао Нара, Хидехиро Китаносоно Хитачи Лтд,  
Токио, Япония.

Тсюнео Исахая, Сумитомо Метл Индастриз Лтд,  
Осака, Япония.

Описанная здесь система управления с помощью вычислительного устройства обладает замечательным свойством, а именно использует динамическую модель работающую в истинном масштабе времени с целью реализации точного управления системами с распределенными параметрами при скучной информации измерений.

Хотя уже было сообщено несколько примеров управления с помощью цифровой вычислительной машины для той же цели, кажется однако что эти системы не более адаптивны к быстрым и большим возмущениям, чем представленная здесь система.

Применение этой системы управления температурой 6-ти последовательно расположенных горячих листовых прокатных станов в Вакаяма Стил Оф Сумитомо Метл Индастриз дало в результате управление с точностью до  $20^{\circ}\text{C}$  в 95% общей длины прокатных листов. Квалифицированное ручное управление в последнем случае выявило точность  $10^{\circ}, 20^{\circ}\text{C}$ . при чем управление текущим режимом работы прокатного стана не было столь сложно по сравнению с существующим.

Согласно последней тенденции можно показать, что управление с помощью вычислительного устройства в общем предпо-

лагает повышение скорости вычисления и количества перерабатываемой информации, а теория управления склоняется к уточненным обсуждениям нереальных целей.

Для реализации эффективного управления однако необходимо придать особое значение усилиям в направлении подбора системы управления по отношению к характеру управляемого процесса.

В работе показаны усилия производимые в области управления охлаждением прокатных листов, которая включает в себя многие виды проблем и предполагается этим внести свой вклад в области объединения теории управления и вычислительной аппаратуры.

С точки зрения применения аналоговой или гибридной техники, новая система не является явно низкой по стоимости версией управления с помощью цифровой вычислительной, однако можно сказать, что преднамеренная реконструкция системы состоит в улучшении характеристик путем наилучшего использования особенностей аналоговой техники.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО  
РАСПОЛОЖЕННЫХ ХОЛОДНЫХ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ.

Т. Аrimura, M. Kamata, M. Saito  
Ниппон Коукэн. К.К. Кавасаки. Япония.

Недавний прогресс в автоматизации последовательно расположенных холодных прокатных станов сделал необходимым изучение динамического режима прокатных станов. Анализ сложной динамической системы пяти установок последовательно расположенных прокатных станов и программы моделирования был развит с помощью цифрового вычислительного устройства. Используя это было полностью исследованы изменения размеров и растяжений вызываемые возмущениями во вращательной установке и передней скорости катков, дополненные измерениями горячей ленты. При анализе выяснилось, что изменения вращательного устройства первой установки, передней скорости катков у первой и последней установок, а также размеров горячей ленты оказывают влияние на конечные размеры. Другие факторы воздействуют на конечные размеры в очень малой степени. Результаты были наглядно представлены с помощью цифрового самописца, и схематически показаны незначительные изменения состояния катков при каждой из установок вызываемые влиянием помех в виде внутренних растяжений.

Была применена программа для анализа и усовершенствования системы Автоматического Управления Размером с результатами верхнего выравнивания точности конечного размера. Кроме того

новая система управления с помощью счетно-решающего устройства была предложена для получения более совместимого конечного размера, чем с помощью обычной системы с обратной связью.

Согласно стремлению увеличить производительность последовательно расположенных прокатных станов были исследованы возможности усовершенствования изменения размеров в системе катков. При моделировании, а также при экспериментировании подтвердилось, что эта система требует управления по прямой связи реализуемой программируемым вычислительным устройством, вместо встроения обратной связи системы. Эта система управления имеет и другие области применения при автоматизации прокатных станов и упрощении внешних измерений. Динамическое управление с помощью вычислительного устройства является проблемой, которая должна быть решена для оправдания будущих капиталовложений в управление последовательно расположенным холдингами прокатными станами с помощью вычислительных устройств в которых управление в реальном масштабе заменяет часть решений и управления выполняемые человеком-оператором.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ В СЛУЧАЕ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ ЗА ПРОЦЕССОМ

Ежи Бромирски - Политехнический Институт Вроцлав

Ян Ротэр - Промышленный Институт по автоматике и измерениям Вроцлав  
ПОЛЬША

В статье рассматривается проблема оптимизации процессов резания полосой, которых длина изменяется. В итогу проводки разделения длина конечного отрезка должна быть в заданом интервале или быть минимальной.

В статье делается новый подход до этого вопроса.

Принято, что точная длина полосы неизвестна. Информация получена во время процесса оптимизации, это сумма действительной длины полосы и некоторой помехи интерпретированной как случайная переменная.

Рассмотрено два случая :

1. когда распределение вероятности случайной переменной неизвестно,
2. когда распределение вероятности определяется априори.

Предложено специализированные цифровые структуры оптимального управления процессом резания.

# ПО МЕТОДУ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА МНОГОМЕРНЫХ САСТЕМ

Нобую Хатси Япония

Рассматривается метод корреляционного анализа многомерных систем при наличии корреляции между входных сигналов.

Получается линейное алгебрическое уравнение с матрицей высокого порядка.

Показывается, что уравнение для определения импульсных переходных функций совсем похоже с нормальным уравнением по методу наименьших квадратов теории регрессии. Следовательно автор предложил метод оценивания точности вычисленных импульсных переходных функций применением метода математико-статистической теории. В особенность, показывается, что одновременная доверительная область по коэффициентам регрессии способна для оценивания точности вычисленных импульсных переходных функций.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ

М. Кошельник, Ю. Малькевич, С. Трибула

В статье подан статистический метод определения амплитудно-фазовых характеристик и передаточной функции между активной мощностью и частотой в соединенных между собой энергосистемах. Потребление мощности, обменная мощность и частота рассматриваются как стохастические процессы. Данный метод позволяет определить передаточную функцию каждой системы, когда известны только функции автокорреляции балансов обменной мощности и частоты, а также функции взаимной корреляции между этими процессами. При этом предполагается, что процессы потребления мощности этих систем являются стохастически независимыми.

После вычисления передаточной функции можно также определить функции автокорреляции потребления мощности, которые невозможно определить непосредственно на основании измерений, так как в энергосистеме нет такого пункта в котором бы можно было измерить эквивалентное потребление мощности.

Точность искомых результатов зависит от выбора соответствующей методики оценки характеристик рассматриваемых процессов. Проведенный для этой цели анализ разных аспектов оценки этих характеристик будет описан в последующих работах.

Описанный метод касается не только энергосистем, но и вообще линейных систем регулирования, соединенных между собой на входе. При этом известны процессы на выходе, потоки в соединительных линиях между этими системами, а неизвестны процессы на входе, которые принято считать статистически независимыми.

## Теория стохастических ошибок

При определении характеристик стохастических процессов в технике связи, измерений и регулирования является необходимым указать на принципиальные стохастические погрешности результата.

В первой части работы обсуждается теория погрешностей классического интегрирующего коррелятора, причём расчёт производился в спектральном и во времени диапазонах. Расчёты легко можно перенести на спектральный анализатор.

Вторая часть дает обзор различных случаев применения, а также нескольких новых работ в этой области. Следует оценка ситуации по стохастике измерений настоящего времени, с учётом в частности техники корреляционных измерений.

Х.Бухта

Технический Университет, Дрезден,  
Институт Техники Регулирования  
ГДР

## МЕТОД ОЦЕНКИ СЛУЧАЙНЫХ ОШИБОК ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ ИНФРАНIZКОЧАСТОТНЫХ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ

для нахождения систематических и случайных ошибок при определении корреляционных функций требуется трудоемкие исчисления. Дискретные методы измерения с применением корреляторов Стильбеса и цифровых корреляторов, в том числе релейных и поляризационных корреляторов, в силу присущих нелинейностей и многообразия действующих факторов, требуют - для достижения точных результатов - весьма обширных затрат труда. Для оценки ошибок кроме того необходимо знать корреляционные функции и другие свойства соответствующих случайных процессов. По этому здесь рассматриваются только случайные ошибки, допускаемые при определении автокорреляционных функций случайных, стационарных, эргодических и центрированных процессов, которые приблизительно могут записываться в виде гауссовых процессов, спектральная мощность которых существует в пределах до угловой частоты = 0.

Предложен метод оценки вышеуказанных ошибок.

Этот метод дает простые и удобные для практических целей аппроксимации для определения случайных ошибок аналоговых и дискретных корреляторов постоянного и периодического действия для величин времени сдвига = 0 и или .

Для обозначения спектральных свойств анализируемых сигналов в аппроксимациях учитывается эффективная ширина полосы спектра шумов , определяемая приблизительно для известных спектральных классов на основании среднего числа пересечений оси в единицу времени , где - среднее значение. Необходимое время наблюдения Т и задаваемый для отдельных типов коррелятора период тактного импульса можно определить приблизительно на основании экспериментальных записей инфразвуковых сигналов, поступающих, например, от

промышленных объектов регулирования. Весь характер кривой корреляционных функций и спектральных плотностей мощности этих сигналов в расчетах не рассматривается.

## Управляемость нелинейных систем

В этой работе рассматриваются управляемости в нелинейных управляющих системах. Изучающие управляющие системы записываются обычными дифференциальными уравнениями. Некоторые понятия об управляемости введены. Если каждое начальное системы может быть перенесено первоначальному в конечном времени, эта система называется "управляемой". Если требованное время бесконечно, то "квазиуправляемой". Если в окрестности стационарного положения система управляема "локальноуправляемой".

Из сказанного следует, что если система квази-управляема и локально-управляема, то эта система управляема.

В этой работе дискуссии ограничиваются системами, на которые управления действуют линейно. Такие системы называются управляющими системами с появляющимися линейно управлениями.

Под годными условиями квази-управляемость заданной системы такого типа может быть доведена до квази-управляемости определенной управляющей системы с низким измерением. Анализ управляемости, следовательно может быть упрощен.

Используя тот результат, управляемости некоторых типов нелинейных систем рассматриваются подробно. И достаточные условия для квази-управляемости заданы. В конечной главе, некоторые примеры представлены. Например, заданы достаточные условия для управляемости, связывая условия для квази-управляемости и локально-управляемости.

Анализ релейных импульсных систем с нелинейным объектом  
регулирования

Х.Л. Бурмейстер, Дрезден / ГДР

Предлагается метод точного анализа определённого класса  
релейных импульсных систем с дополнительными нелинейностями,  
выступающими например при экстремальном регулировании объектов  
с параболической характеристикой. Метод более прост и применим  
при более общих условиях чем известные до сих пор методы и  
допускает удобное определение численных значений.

Рассматриваются объекты регулирования, представимые в качестве  
 $L_{\text{г}}^{NL_b}$ -цепи с устойчивыми линейными членами  $L_{\text{г}}$  и  $L_b$  любого  
порядка и статической параболической нелинейностью  $N$ . При этом  
форма импульсов произвольная, прямоугольные импульсы и чистое  
запаздывание включены как частные случаи.

Дискретные значения переменных состояния /нормальные коорди-  
наты/ удовлетворяют системе нелинейных разностных уравнений.  
Эта система линеаризуется подходящим нелинейным преобразо-  
ванием. При расчёте переходных процессов требуются только  
умножения матриц и оценка нелинейных в общем случае условий  
переключения. Периодические колебания вычисляются точно,  
условие переключения служит условием существования. Среднее  
значение за период, например потеря на рыхканье при экстре-  
мальных системах, оценивается без вычисления колебания.

Метод применялся на различных типах экстремальных систем,  
в частности таких второго и третьего порядка, и дал выводы  
о стационарных колебаниях и их областях существования, а  
также по ограниченности или расходимости переходных процессов.

СУБГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В СОЕДИНЕННЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ  
СИСТЕМАХ РЕЛЕ

С.Т.Нуджент

Отдел машиностроительной физики

Университет Дельхаузи

Галифакс, Канада

Р.Й.Каванагх

Отдел электрического машиностроения

Университет Федерации Нового Брюисвика

Канада

Сообщение развивает метод предвидения существования и относительных фаз субгармонических колебаний в управляемой системе реле с двумя переменными. Эта система состоит из линейной перекрестно-связанной системы с двойным входом и двойным выходом. Входы такой системы управляются при помощи реле, а эти последние приводятся в действие при помощи системы, сигнализирующей ошибки.

Метод, в основном, является обобщением метода Ципкина и использует результаты, уже полученные авторами относительно прогнозов вынужденных колебаний при основной частоте в подобного же рода системах. Проблема ограничена следующими рамками. Две входные переменные величины, которые не обязательно должны быть синусоидальными, являются периодическими с идентичной частотой и нулевой средней; однако они могут отличаться друг от друга фазой и величиной. Предполагается, что реле симметричны, что они имеют гистерезис, но не имеют "мертвой" зоны и не должны быть идентичными. Предполагается, что они могут переключаться два раза в течение одного субгармонического периода,

# ОСНОВЫ ТЕОРИИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ЧАСТОТНОЙ И ШИРОТНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В.М.Кунцевич, Ю.Н.Чеховой, Институт кибернетики АН УССР,  
г.Киев, СССР

Рассмотрены нелинейные импульсные системы автоматического управления, состоящие из непрерывной линейной части (НЛЧ) и нелинейного импульсного модулятора (ИМ). ИМ модулирует последовательность прямоугольных импульсов по знаку, частоте и длительности в зависимости от линейной комбинации дискретных значений координат системы.

Для названных систем используется понятие естественного фазового пространства  $E''$  с координатами  $x_n, x'_n, \dots, x_n^{(m-1)}$  и разностного фазового пространства  $\mathcal{D}''$  с координатами  $x_n, x_{n+1}, \dots, x_{n+m-1}$ . В обоих фазовых пространствах найдены нелинейные разностные уравнения движения и установлена связь между ними.

Сформулирован дискретный аналог теоремы Ж.Ла-Салля, являющейся некоторым обобщением теоремы А.М.Ляпунова об асимптотической устойчивости. На основе теоремы Ла-Салля показано, что функция Ляпунова — квадратичная форма — гарантирует получение достаточного условия устойчивости в целом множества положений равновесия исследуемой системы.

Сформулирован дискретный аналог теоремы Т.Иошизавы о предельной ограниченности нелинейных импульсных систем. На основе этой теоремы предложена методика определения границ асимптотически устойчивого множества, внутри которого заканчиваются все фазовые траектории системы.

Дана методика определения параметров стационарного режима системы, стесняющей линейную функцию времени. Для найденного стационарного режима на основе прямого метода Ляпунова получены условия устойчивости в целом.

# АНАЛИЗ НЕ-ЛИНЕЙНЫХ КОНТРОЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В.Фегиф и Д.П.Афертон

факультет электронного машиностроения

Университет в Нью Брансвик

Фредериктон, Н.Б., Канада

Данный доклад представляет метод анализа несущих систем переменного тока с нелинейностью связи переменного тока. Получаются условия, в которых линейные передаточные функции в связи переменного тока могут быть трансформированы и сдвинуты к пунктам, находящимся в низкочастотной части системы. Остальная часть процесса модуляция-нелинейность-демодуляция, как показано, эквивалентна модифицированной нелинейности. Проследиваются также свойства нелинейности как симметрия и однозначность; их влияние на действие системы иллюстрируется примерами.

Ряд специальных способов использования нелинейной системы обратной связи переменного тока, которые не могут быть показаны при помощи простого описательного анализа функций, описаны и проиллюстрированы посредством опытов при помощи небольшого механизма, контролирующего позицию переменного тока.

## ОБ ОПТИМАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЕСУРСОВ

А.Я.Лернер, А.И.Тейман

В докладе ставится проблема разработки принципов такого управления ресурсами, при котором достигалось бы наивыгоднейшее значение критерия, характеризующего результат решения задачи и процесс его получения.

В качестве объекта управления рассматривается комплекс взаимосвязанных операций, представимый в виде сетевой или матричной модели.

В наиболее важных для практики случаях функционал  $\Phi$ , описывающий цель реализации комплекса, включает следующие факторы:  $T$  - время выполнения комплекса,  $R$  - имеющиеся ресурсы,  $P$  - вероятность завершения его за время  $T$ ,

$K$  - качественные характеристики результата реализации комплекса операций. В зависимости от учитываемых параметров возникают задачи различного типа.

В докладе рассмотрены задачи классов  $TR$  и  $TP$ . Сформулированы ряд детерминированных задач оптимального распределения ресурсов, намечены пути их решения и рассмотрены примеры. Поставлена проблема управления комплексами операций в условиях неопределенности, построена и исследована модель процесса создания комплекса и сформулированы возникающие в связи с этим задачи.

Приводится краткий обзор результатов в рассматриваемой области и обсуждаются возможные направления дальнейших исследований.

А.А.Воронов, В.Н.Авдийский, С.Е.Ловецкий  
Москва

### К теории управления запасами.

Функционирование больших систем можно рассматривать как комплекс целенаправленных действий-операций. Одним из наиболее важных видов управляющих воздействий при управлении комплексами операций является распределение ресурсов по операциям. Но ресурсы в данной системе не безграничны их поступление в систему извне не может осуществляться в любое время и в любом количестве. В связи с этим важной составляющей в управлении ограниченными ресурсами является управление запасами, т.е. не используемыми в данный момент ресурсами, но запасаемыми для обеспечения бесперебойности операций.

В процессе управления операциями можно выделить два основных этапа: определение оптимальной программы действий и реализация этой программы, включающая коррекцию возникающих в ходе операций отклонений.

В докладе рассматривается первая стадия управления запасами определенной категории: составление оптимального плана управления запасами для данного комплекса изделий, поступающих с внутренних складов предприятия и извне при детерминированной и случайной величине спроса.

О.Г.Чеботарев  
/Москва/

### II.3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ В МНОГОТЕМНЫХ РАЗРАБОТКАХ НА ОСНОВЕ АГРЕГИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ОПЕРАЦИЙ

Рассматривается метод решения задач распределения ограниченных ресурсов между операциями многотемного проекта. Агрегирование комплексов операций, т.е. замена комплекса одной операцией, позволяет представить решение таких задач в виде последовательных этапов:

1. Выполняется агрегирование каждого комплекса, представляемого в виде единой сети, в результате которого каждый комплекс представляется одной операцией, для которой в процессе агрегирования определяются все необходимые параметры по заданным параметрам для операций комплекса.

2. Решается задача распределения ограниченных ресурсов между независимыми операциями (комплексами) по заданному критерию оптимальности.

3. Решается  $\ell$  задач распределения ресурсов по числу независимых комплексов операций между операциями каждого комплекса при ограничениях на ресурсы, определенных на предыдущем этапе.

Таким образом, задача распределения ограниченных ресурсов между  $n = \sum_{\rho=1}^{\ell} n_{\rho}$  операциями сводится к решению  $\ell$  задач распределения ресурсов между  $n_{\rho}$  ( $\rho = 1, 2, \dots, \ell$ ) операциями, где  $n_{\rho}$  - число операций в  $\rho$ -м комплексе и  $\ell$  - количество технологически не связанных комплексов в многотемном проекте.

Описаны общий подход к проблеме агрегирования комплексов операций и этапы процесса агрегирования.

Рассмотрен метод оптимального агрегирования для случая линейных зависимостей скоростей выполнения каждой операции от количества ресурсов, назначенных для ее выполнения.

## II.4. ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСАМИ ОПЕРАЦИЙ

Рассматривается задача распределения ресурсов одного вида. Задан комплекс из  $n$  операций, необходимая очередность выполнения которых определяется сетью. Скорость каждой операции является степенной функцией количества ресурсов.

Требуется задать распределение ресурсов на каждой операции так, чтобы комплекс был выполнен за минимальное время при условии ограниченного количества ресурсов.

Доказаны следующие свойства оптимального решения задачи:

- а) количество ресурсов на каждой операции не меняется при ее выполнении,
- б) количество ресурсов образует поток по сети, отражающей необходимую очередность выполнения операций,
- в) оптимальному решению задачи соответствует траектория кратчайшей длины, соединяющая две точки некоторой области в  $q$ -мерном пространстве, где  $q$  - размерность сети.

Пусть  $\tau_i^*$  - времена операций в оптимальном решении задачи минимизации уровня ресурсов  $n$  при заданном времени  $T$  выполнения комплекса. Поставим задачу минимизации затрат  $S$  при том же  $T$ , определив зависимости затрат  $S_i$  на выполнение каждой операции от времени  $\tau_i$  ее выполнения следующим образом:  $S_i(\tau_i) = w_i^n / \tau_i^{n-1}$ ,  $i=1, \dots, n$ , где  $w_i$  - объем  $i$ -й операции. Доказано, что  $\tau_i^*$  определяют оптимальное решение поставленной задачи (это задача типа PERT-Cost).

Помимо уже известных методов решения поставленной задачи или задачи распределения затрат (в силу результата пункта 3 решение одной можно получить, зная решение другой) предложен новый алгоритм, который по существу является алгоритмом определения кратчайшей траектории между двумя точками  $q$ -мерной области.

М.К.Бабунашвили /Тбилиси/, С.С.Наумов /Москва/

## II.6. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ С ОПРЕДЕЛЕННОЙ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИЕЙ

Рассматривается класс управляющих подсистем с некоторой целевой функцией. Для этих систем предлагается алгоритм определения шага квантования и формула для оценки количества профилактических опросов как функции от параметров подсистем.

Описывается система, состоящая из подобных подсистем, причем эти подсистемы подчинены одному управляющему органу высшего ранга. Делается допущение, заключающееся в том, что число опросов, необходимых для управления, должно уменьшаться с увеличением ранга иерархии. Указанное ограничение, наложенное на систему, приводит к определению необходимого условия оптимальности иерархической структуры. Доказывается, что полученное условие является также достаточным и в локальном смысле.

Пьер Форр

Линейные дифференциальные игры с оптимальными стратегиями  
и принцип разделения.

Работа посвящена линейным дифференциальным играм с квадратичными критериями. Доказывается существование оптимальных стратегий в случае когда сопряженное уравнение Риккати имеет решение. Доказывается также, что полученные стратегии являются равномерно оптимальными, т.е. такими которые оптимальны также при знании стратегии противника.

Рассмотренный метод обобщается на стохастический случай, для которого используется формализм стохастических дифференциальных уравнений Ито.

Доказывается, что принцип разделения оценки и управления обобщается на случай стохастических игр.

## КИСЛОРОДНЫЙ ДАТЧИК С ТВЕРДЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

С.Д.Лауренс, Х.С.Спейсиль, Д.Л.Шродер,

Дженерал Электрик.

Двуокись циркония, после подгрева до температуры выше  $600^{\circ}\text{C}$  резко уменьшает свое сопротивление электрическому току, а особенно в отношении проводимости ионов водорода. Напряжение генерируется согласно уравнению Нерста. Оговорена теория этого кислородного датчика. Описано практическое применение в научных исследованиях и производстве.

## МОС-ФЕТ РЕЗИСТОР УПРАВЛЯЕМЫЙ НАПРЯЖЕНИЕМ.

Х.Ф.Сторм.

Дженерал Илектрик Рисерч Дивелопмент Сентэр  
Шенектеди Нью Йорк США.

Показано как может быть линеаризирован обычный нелинейный МОС ФЕТ-ий (транзистор полевой)канальный резистор и благодаря этому использован для управления цепями переменного и постоянного тока, без введения искажений. Являясь электростатическим устройством МОС ФЕТ обладает высоким входн. сопротивл.<sup>13</sup> (более, чем  $10^{13}$  ом) и требует всего лишь очень низкую управляющую мощность (менее, чем  $1 \mu W$ ). Примерами применений МОС ФЕТ являются: реле времени на большие выдержки, переменные R-С постоянных во времени цепей, аттенюаторы управляемые напряжением, аддитивные устройства управления, умножающие устройства, усилители и модуляторы.

В качестве примера описан линеаризованный МОС ФЕТ являющийся частью фазо-сдвигающей цепочки для управления тиристорами и т.п., с диапазоном от сетевых частот до выше 200 кгц. Показаны измеряемые данные угла сдвига фазы по отношению к запускающему импульсу управляющего напряжения. В заключение приведены осциллограммы сдвига фазы выходного напряжения.

Ф.Л.Н. Наги дипл.инж.

Отделение электрического машиностроения

Университет Сальфорд, Англия

ТВЕРДЫЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ  
УПРАВЛЕНИЯ РАБОТАЮЩИЕ ПО ПЬЕЗОЭЛЕ-  
КТРИЧЕСКОМУ ПРИНЦИПУ

Новый вид электростатических элементов управления имеющих большой импеданс стали доступными пополнив имеющийся состав электромагнитных устройств с малым импедансом. Несовпадение их импеданса с большинством до сих пор устройств, является их преимуществом, так как они не взаимодействуют с собой и не подвергаются нежелательным электромагнитным помехам.

Статья описывает новые управления приводы для сервомеханизмов. Даются примеры изгибающихся и скручивающихся биморфических элементов кристаллических моторов, на пример двухфазный /одномостовой, двухфазный/ двухмостовой и четырехмостовой вращательные моторы, гидравлические и пневматические клапана и пр. все работающие по электростатическому /пьезоэлектрическому принципу. Сгибающийся и скручивающийся элементы могут быть совмещены в одну единицу, из чего получается изгибающе-скручивающийся биморфический элемент дающий составное движение. Основной принцип действия привода базирует на новом применении обратного пьезоэлектрического эффекта в кристалле, то есть на использовании создаваемой в кристаллической структуре, контролируемым электростатическим полем, механической деформации.

Будет показано применение разных пьезоэлектрических кристаллических элементов регулирования в существующих системах управления. В качестве первого применения показан кристаллический привод являющийся составной частью установкой магнитной головки памяти электронно вычислительной машины, уменьшающий искажения, медленные и быстрые колебания в высоте звука

возникающие между магнитной головкой и магнитной лентой шириной в один дюйм. Это управление привело к уменьшению о 20 -

- 30 децибел искажений в полосе частот 0 - 100 Герц. Применение кристаллических преобразователей для систем управления в памяти электронно вычислительных машин кажется особо перспективным поскольку компенсация изменений скорости, на тяжки и точной установки магнитной ленты может быть осуществлена сервоуправлением только магнитной головки. Таким образом, одна регулировка может заменить ряд отдельных операций управления.

"Биморфный" привод в своей изгибающей форме оговорен теоретически и дан вывод его переходной функции. Ведутся работы над развитием многосоставных, мультиморфных элементов более приспособленных для сервомеханизмов.

ТОЧНОЕ СКОРОСТНОЕ УПРАВЛЕНИЯ АБСОЛЮТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ  
ПРИМЕНЯЯ МНОГОКОЛЕЙНУЮ ОПТИЧЕСКУЮ СЕТКУ

Автор: A. Расселл

Национальная Инженерная Лаборатория, Ист Килбрайд, Глазго  
(Группа: Станки и Метрология)

Описывается метод получения данных абсолютного положения аналога при помощи многоколейных оптических сеток. Обсуждаются критерии точности интерполяции различных систем и предлагаются методы их осуществления. Свободный от трения преобразователь может применяться в точных скоростных цифровых машинах управления положением.

ПАССИВНЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ЗОНД С  
СЕРВОМЕХАНИЗМОМ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Хоркио Андрю Тракко

Эдвэнсд Текнолоджи Лабораториес, ДжерикоТампайн  
Джерико, Нью Йорк, 11753, США

Температурные измерения при высокой температуре газа про-  
пливающего через погруженную в защитном зонде термопару влекут  
за собой как правило ошибку, главным образом вызванную радиа-  
ционными потерями тепла. Эта ошибка характеризуется фактором  
регенерации зонда и обычно ниже единицы.

После обзора существующих устройств для измерения высоких  
температур, описан новый зонд. Этот зонд имеет радиационную за-  
щиту, внутри лицевой стороны которой расположен электронагрева-  
тель и управление с помощью электронного сервомеханизма, кото-  
рый работает таким образом, что переходной процесс зонда улуч-  
шается и его установившаяся статическая ошибка от радиации  
может быть минимизирована.

Рассмотрена система уравнений регулирования, которая была про-  
анализирована на аналоговом вычислительном устройстве и которая  
дает в результате устойчивый и желаемый режим работы. Описанные  
решения были получены для типовых термопар употребляемых при  
исследованиях в сверхзвуковом потоке воздуха, при температуре в  
среднем 2000 градусов по Фаренгейту. Предложена модель зонда не  
обладающая радиационной ошибкой после достижения установившего-  
ся состояния.

Предложена система усиливающая ответную реакцию стандартной защитной термопары в 333 раза, таким образом что после 3 миллисекунд на зонде достигаем 99 % амплитуды входного сигнала.

РАЦИОНАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ  
СОСТОЯНИЕМ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ МАШИН

Е.Л.Суханов, В.С.Швыдкий, Б.И.Китаев,  
Ю.Г.Ярошенко, Ю.Н.Овчинников, В.Г.Лисиенко

(Уральский политехнический институт, г.Свердловск, СССР)

Выявленная автономность в тепловой работе верхней и нижней зон доменной печи обусловила необходимость раздельной оценки их теплового состояния. В качестве обобщенного параметра теплового состояния верха печи предлагается индекс  $i_B$ , а для контроля теплового состояния низа печи - индекс  $i_H$ . Эти параметры вычисляются один раз за цикл загрузки печи по обычной текущей информации о ходе технологического процесса.

Доменную печь рекомендуется рассматривать в виде двух взаимосвязанных, но самостоятельных объектов регулирования со своими статическими и динамическими характеристиками. При анализе этих характеристик делается вывод о реальной возможности подбора таких комплексов управляющих факторов, общее влияние которых на тепловой режим печи обладает нужным избирательным (локальным) действием. При этом учитывается как статика, так и динамика переходных процессов в обоих объектах регулирования.

Каждое управляющее воздействие представляет собой определенную программу необходимых дискретных изменений температуры и влажности дутья, обогащения дутья кислородом и расхода инжектируемого топлива. Из экономических соображений допускается уменьшение удельного расхода кокса. Все вычислительные операции возлагаются на информационно-управляющую машину.

Доказывается принципиальная возможность стабилизации и оптимизации теплового состояния современной доменной печи, работающей на комбинированном дутье. Даётся блок-схема системы автоматики, которая реализует выдвинутую в докладе идею об оптимизации доменного процесса, осуществимую только при раздельном контроле и локальной стабилизации теплового режима в верхней и нижней зонах печи.

Анатоль ГОСЕВСКИ, Анджей ВЕЖЕМICKI /Польша/

ДИНАМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОЦЕССА  
В ДУГОВОЙ ПЕЧИ

В докладе представляется концепция, проект технической реализации и предварительные результаты экспериментальных работ связанных с динамическим оптимальным управлением сталеплавильным процессом в дуговой печи. Показателем качества процесса была принята единичная стоимость продукции стали, учитывающая как стоимость электрической энергии, так и стоимость времени. В качестве математической модели процесса была принята система обыкновенных дифференциальных управлений.

Теоретическая проблема оптимализации процесса была решена, исходя из принципа максимума. В докладе также представлены предложения относительно расширения метода, которое дает возможность совместной оптимизации комплекса нескольких дуговых печей с учетом общих ограничений.

В докладе представлены также технические решения открытой и замкнутой оптимальной системы управления принятые к осуществлению и результаты экспериментальных плавок, основанных на оптимальных алгорифмах управления.

ОПТИМАЛЬНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОМНЫХ ПЕЧЕЙ

Х. Квакернаак, П. Тейссен, Р. Стрейбос

Предмет данной работы - динамическое оптимирование сдвинутой параллельной системы эксплуатации домных печей. Предполагается стационарная периодическая эксплуатация. Оптимальность определяется тепловыми показателями. Даются уравнения для оптимирования и разрабатывается численный подход вплоть до численных результатов. Затем проводится сравнение с двумя видами серийной эксплуатации четырех печей. Авторы приходят к выводу что сдвинуто-параллельный режим не очень критичен и термически более эффективен чем серийный.

A.J.Bailey

G.C.Hollinworth

I.Jeremiah

K.Binding

The British Iron and Steel Research Associat.

London, England

## Употребление управления вычислительными машинами плетизональной нагревающей топки

В самых современных стальлитейных заводах полностью управляетя прокатка стальных полос вычислительными машинами. Обыкновенно управляются вторично нагревающие тонки, которые готовят нагретые слябы для прокатки в стане, вручную. Чтобы вполне объединить управления стана, учредили проект, чтобы распространить управление вычислительными машинами на топки. Первая цель этого проекта была управление нагреванием слябов в топке и регулирование температур слябов при поступлении в стан для более точных допусков, чем это возможно при ручном управлении, а вторая цель - уменьшение употребления топлива.

В этом докладе описывается исследования, работу, развитие и применение контрольной системы для достижения первой цели.

В начале дается краткое описание контрольной вычислительной машины, первоначальной регистрации данных, особой оснастки топки приборами, развития установившейся математической формулы и особых опытов, которые проводили над топкой, чтобы проверить формулу.

В докладе описываются различные стадии работы как следует, чтобы получить подробную информацию о динамике топки, связанная региструющая программа данных была записана и подвергнута проверке. В связи с этим нужно было осторожно выбрать место и установить лучевые пирометры при выходе главных нагревающих зон для измерения температур слябов. Работа топки как при нормальных так и нарушенных условиях была записана в течени долгих сроков. Потом подробный анализ записи работы показал, что возможно употребить линейную динами-

ческую формулу следующего типа, выдвинутую фирмой Боке и Дженкине с небольшими модификациями:

Чтобы отрегулировать учитывая неизвестные и неизмеренные нарушения в топке, следующая "формула шута" была употреблена. Результатом этого теоретического применения была обычная система управления типа прямой-обратной связи.

Чтобы получить расчеты параметров для этой формулы рассмотрены многие различные методы. Метод наименьших квадратов в связи с техникой корреляции и антикорреляции оказался наиболее практическим и успешным.

Потом в докладе вдаются в подробности писания связанный контрольной программы и опытов и техники, которые принимали для успешной работы управления.

В конце доклада дается краткое изложение полученных результатов, степень достигнутого и описывается будущая работа и усовершенствования по отношению к регулированию температуры во всем стане.

И.В.Бистон

Отделение электрического машиностроения

Куин Мари Колледж, Майлз Энд Роуд

Лондон Э.І, Англия

Замкнутая система управления подвешенным грузом  
с оптимизацией времени - исследование конструкции.

Програмное управление подвешенным грузом с оптимизацией времени представляет особый интерес при разгрузке из судов с помощью мостового крана грузов в навалку, в роде железной руды. Стратегия минимального времени является хорошим приближением к актуальным экономическим требованиям и дает точное местонахождение груза устраняя повреждения. Были публикованы расчеты разных схем систем управления с разомкнутой цепью, но они не учитывали успешно широкого объема исходных условий, в частности качания груза. В настоящем исследовании эта трудность преодолена путем употребления или замкнутой цепи или модернизированной разомкнутой цепи системы управления.

Оптимальное управление как функция времени получается применяя правило Максимум Понтрягина к одинарной /простой/ модели системы с линеаризацией динамики и насыщения ввода для номинального состава исходных условий. Разработан модифицированный анализ чувствительности для получения из него решения точного изображения динамики системы, включая изменения длины каната во времени, а также нелинейную скорость обратной связи при поперечном движении.

Оптимальное управление для других исходных условий определена с помощью обычной техники Ньютона-Рафсона.

Выведено нелинейное алгебраическое уравнение для управляющего воздействия в выражениях четырех переменных состояния при помощи нелинейного регрессивного анализа с многими переменными, включая изучающий механизм. Такая же техника использована для выведения уравнения для времени переключения регулируемой величины в выражении исходного состояния.

В практической системе могут быть употреблены оба уравнения, но второе дает лучшее показатели и более простое в применении.

Даны результаты аналогового и цифрового моделирования показывая улучшенное поведение по сравнению с обычной схемой с линейарной обратной связью переменных состояния.

Мгр. инж. Роман Гурецки

Кафедра автоматики и промышленной электроники

Горно-Металлургическая Академия

Временно-субоптимальные управление работой  
=====  
кранов с подробным учтанием практической  
=====  
реализации  
=====

Реализация временно-оптимального управления встречает большие трудности в определении управляющей функции и в практической реализации. Введение управления этого типа редко реальные и экономичные.

В статье представлено субоптимальные управление работой крана, которые имеет много достоинств по сравнению с оптимальным управлением. Субоптимальное управление получено на основе анализа оптимального управления. За чём небольших потер бустроты действия упрощается значительно управляющая функция.

Представлено результаты исследования модели крана управляемой описанным методом.

## КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ: ДОМЕННАЯ ПЕЧЬ - АГЛОМЕРАЦИОННАЯ ЛЕНТА-СКЛАД СЫРЬЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНА- ТА В ГАЛАТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Управляющая вычислительная машина была применена в цехе доменных печей металлургического комбината в Галати для комплексной автоматизации технологической линии: доменная печь - агломерационная лента-склад сырья.

При доменной печи вычислительная машина используется для обработки входных данных, ведения протокола нагрузки, коррекции количества нагружаемого сырья, оптимизации теплового режима с помощью математической модели.

При агломерационной ленте машина используется для обработки входных данных и для оптимизации скорости ленты.

Для склада сырья машина составляет протокол транспортных операций, протокол баланса сырья по сортам и по точкам предназначения.

В работе описана установка, приведен обзор методов обработки данных и дан обзор используемых программ.

Линейное управление напряжения и реактивное перемещение мощности в системе электрической энергии.

Юн-ими Баба

Шигео Хаяши

Каору Ишида

Митсубиси Электрик, Амагасаки, Япония.

Так как электрическая энергия уже достаточна в своем количестве, важно стало его качество.

"Качество электричества" обозначает в основном напряжение и частота.

Много всяких методов и аппаратов было изобретено для автоматического "управления частоты". Но автоматическое управление напряжения только ледва было взято во внимание.

До сих пор напряжение и реактивное управление было управляемо автоматическими управлениями напряжения генераторов и сельсинных конденсаторов, переключателями под нагрузкой, шунт конденсаторами и реакторами размещенными в разных местах, управляемыми вручную или традиционными автоматами. Потому было очень трудно совместно управлять всеми этими устройствами в энергетической системе.

Этот доклад говорит о аппаратах и системах управления, которые решают эти трудности и о результатах некоторых последних испытаний.

КОНСТРУКЦИЯ, ЗАВОДСКИЕ И ПЕРВОНАЧАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ  
НА МЕСТЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ  
ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Дж. Х. Озборн, М.Ф. Делаухунты, П.Р. Маддок и С. Аерс

В докладе изложены причины применения управляющей контрольно-измерительной системы, основанной на вычислительной машине, с каждой котельно-турбинной генераторной установкой мощностью 500 мгвт на работающей на жидкое топливо тепловой электростанции мощностью 2000 мгвт.

Прежде всего дается оценка возможностей, которые могут быть достигнуты, используя такую систему, с последующим обсуждением конструктивного и программирующего методов применяемых для объединения в одно целое центральной системы с главной станцией. В частности, в докладе даются решения, которые применяются к поверхности раздела системы, а также дается подробное описание методов передачи информации между конструкторским штатом проекта и подрядчиками главной станции, и поставщиками центральной системы и их составителями программ.

Далее, в докладе следует описание заводских испытаний отдельных модулей и подсистем, а затем подробное описание заводского испытания системы. Даётся особая ссылка на метод испытания программы, включая моделирование центральной системы во время этапа важного испытания.

Излагаются методы ввода в эксплуатацию главной станции, используя центральную систему и её программу, после первоначальной установки системы на месте.

В заключение, в докладе даётся краткое изложение поучительных уроков по проекту, выводы которых применялись для следующего проекта, являющегося усовершенствованным состоянием конструкции и производства.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫМ РЕАКТОРОМ

Доктор Н. П. Косорок  
Battelle Memorial Institute  
Pacific Northwest Laboratory  
Richland, Washington USA

Цифровая вычислительная машина была связана с оборудованием ядерного реактора и включена в систему управления. Система электрического реактора мощностью 384 квт может давать нагрев до 1000°ц. Графитовый замедлитель защищается от окисления подаваемым под давлением азотом. Цифровая вычислительная машина непосредственно управляет подачей азота и системой нагрева, а также обеспечивает удобства для обслуживающего персонала.

Техники управления для четырех замкнутых контуров системы нагрева были запрограммированы на вычислительной машине. Основная, цифровая, техника - моделирование изодромного регулятора была модифицирована для обеспечения дополнительных свойств: /1/ облегчение установок параметров регулятора, /2/ наложение условий на преобразование сигналов, и /3/ компенсирование нелинейностей процесса. Другие свойства системы управления уменьшают количества ошибок оператора во время включения и работы системы подачи азота и системы нагрева. Знаменательно то, что при разработке программ управления широко использовалось гибридное моделирование.

И.С.Жакен, С.Леруа - СОЦИА

Р.Левек - СЭА

И.Тома. - СИИ

И.С.Бедио - ЭБФ

**Автоматическое управление объектом  
с помощью вычислительных цифровых машин.**

В работе представлена система комплексной автоматизации ядерной электростанции Монт д'Арре Эл.4 охватывающая логические операции и операции регулирования.

Описана структура системы автоматизации и даны предпосылки для разделения автоматики на осуществляемую с помощью цифровой машины и конвенциональную.

Далее представлены некоторые частные вопросы применения вычислительной машины, имеющие оригинальный характер.

Описана логическая структура системы автоматизации, что требовало точного определения поведения отдельных составляющих систем. На этом основании описана организация различных программ исполняемых цифровой машиной.

Эти программы имеют много общих черт /модульность, повторяемость, удобство кодирования, сжатость, используемый язык/, что облегчает их применение. Это создало возможность использовать автоматику с момента пуска ядерной электростанции в Монт д'Арре.

Возможно применение представленной структуры автоматики для других, не ядерных установок.

ПОПЫТКА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ  
ПРИ ПИТАНИИ ОГРАНИЧЕННОГО УЧАСТКА СЕТИ СНАБЖЕНИЯ Ц.Э.Г.Б.

---

Ф. Моран и Дж.Н.Приэтт

(Научно-исследовательская лаборатория Ц.Э.Г.Б.)

Управление производством электроэнергии при питании сети распределения влечет за собой значительную нагрузку связанного вычислительного устройства при предвидении спроса и наиболее экономичного распределения нагрузки на генераторы, учитывая бесперебойную подачу и при отказе одной линии передачи или выходе из строя одного агрегата. В ограниченном участке сети Ц.Э.Г.Б. был выполнен ряд опытов с применением зависимой вычислительной машины при предсказании спроса и распределении нагрузки между 31 генератором. Выход каждого агрегата регулировался непосредственной командой вычислителя контролёру генератора.

Дано описание испытаний и обсуждение результатов. Работа автоматической системы оказалась лучше обычного ручного управления благодаря более точному согласованию эксплуатационных расходов с запасным производственным потенциалом и потреблением энергии, хотя количественное сопоставлениеказалось невозможным с экономической точки зрения из-за трудности охвата ежедневных колебаний спроса и взаимосвязи систем электроснабжения.

При подаче энергии в замкнутый участок принятая система проявила себя устойчивой и способной осуществлять более четкую регулировку частоты. На практике выявились затруднения при формулировке эксплуатационных ограничений, которым должен отвечать график нагрузки и при дополнении вычислителя новыми данными. График нагрузки находился под постоянным наблюдением дежурного по табло с катодными трубками и выявилась необходимость улучшения связи между дежурным, вычислителем и табло.

## Анализ динамической устойчивости энергетической системы, подвергнутой детерминистическим изменениям нагрузки

И.Премингер  
Проф.Энергетического  
факультета  
Технион Хайфа, Израиль

Джеральд Парк  
Проф.Энергетического  
факультета  
Мичиген Стейт Юниверсити  
Ист Лянсинг, Мичиген, С.Ш.А.

Динамическая реакция энергетической системы состоящей из 10 генераторов моделируется при помощи цифровой электронно-вычислительной машины применения языка машины "СОВЕТСКИЙ"

Разрабатываются модели блоковой или переходной функции для каждого турбогенератора а влияние синхронизующего момента между генераторами исчисляется из данных о нагрузке и токе.

Рассматривается динамическая реакция вызванная невеликими изменениями нагрузки, которые не изменяют структуры электрической передаточной системы и которые не вызывают неустановившегося режима.

Описан измерительный инструмент для проверки результатов моделирования и рассматриваются добавочные модели для учета демпфирования скольжения и гидроэлектростанции для пика.

## НАСТРАИВАЕМОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ОБЪЕДИНЕННЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

Регулирование мощности передаваемой между объединенными электросетями происходит по известному принципу регулирования "частота-мощность".

Кажется целесообразным принимать температуру кабелей высоковольтных линий передачи в качестве критерия оптимального регулирования сети.

Для того, чтобы на объединенных электростанциях свести к минимуму работу по регулированию, допускаются значительные колебания передаваемой мощности, если колебания температуры смягченные инертностью кабелей остаются в допускаемых пределах.

При небольшой величине среднего значения передаваемой мощности допускаются большие колебания температуры и медленная реакция системы регулирования.

Если среднее значение передаваемой мощности является большой величиной, или в случае аварии, возникает необходимость быстрой реакции системы регулирования, во избежание перегрузки и превышения допускаемой температуры линий соединяющих объединенные сети.

В настоящем отчете описан принцип настраиваемого регулирования "частота-мощность" одной объединенной энергосистемы по методам динамической статистики.

В докладе указано, по каким правилам следует изменять динамические данные регулятора сети соответственно передаваемой мощности, а также в случае аварии. Приведены различные методы распознавания аварийных случаев.

Целесообразность предлагаемой настраиваемой системы регулирования доказана путем моделирования с помощью гибридной аналогово-цифровой вычислительной машины.

С.Лефевр, А.Ро  
Эколь Националь Суперерь  
де л'Аэронатик, Центр д'Этюд  
э де решерш ан Отоматизм, Париж, Франция

## $\sigma_2$ - устойчивость параметрических систем.

Автоматика развивается в таком направлении, что специалистам необходимо более точно изучать физическую суть управляемых процессов. К тому же приходится исследовать все более комплексные системы. Все это приводит к необходимости изучения параметрических систем.

Теоретически исследовать параметрические системы очень трудно. Существует узкий аппарат /теория Флокета/ пригодный для этой цели. К тому же параметрические явления возникающие в процессах часто очень плохо определены. Таким образом возникает необходимость в разработке методов исследования пригодных для данных, которые имеются о процессах. Например критерий "окружности" /I,3/ определяет устойчивость системы с переменным коэффициентом усиления, исходя из его предельных значений верхнего и нижнего. Однако такие глобальные критерии слишком часто к гипотезе "замороженных полюсов", что может вызвать опасные последствия.

В работе дается определение  $\sigma_2$  - устойчивость. Она сравнивается с классическими определениями устойчивости / I,4,5,6, 17/. Эта  $\sigma_2$  - устойчивость связана теоретически с такими физическими явлениями в системе, как например рассеивание мощности. Установлен геометрический критерий, использующий усреднение во времени и среднеквадратическое значение изменяющегося параметра.

## РАЗВИТИЕ МЕТОДА ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ

Е.П.Попов, Е.И.Хлыпalo  
СССР

Метод гармонической линеаризации (гармонического баланса, описывающей функции) нашёл самое широкое практическое применение в практике инженерных расчетов нелинейных автоматических систем любого назначения. Использование вычислительной техники позволяет успешно применять этот метод к сложным системам со многими нелинейностями и к сложным процессам управления с нелинейным разделением их на составляющие по различным частотам. Между тем в ряде случаев получается неуверенность в получаемых результатах по некоторым формальным некорректностям.

В частности, применение обычной формы гармонической линеаризации к неоднозначным нелинейностям гистерезисного типа иногда приводит к отрицательному старшему коэффициенту характеристического уравнения гармонически линеаризованной системы, что является формально математической некорректностью и не соответствует динамическим свойствам реальной системы.

В данном сообщении предлагается новая форма гармонической линеаризации для подобных случаев, дающая выражение аналогичное передаточной функции линейноинерционного звена. Это позволяет исключить указанную некорректность и лучше связать форму расчетного выражения с реальными динамическими свойствами системы.

Новая форма гармонической линеаризации применена к случаю периодических нелинейных колебаний (собственных и вынужденных), затухающих и расходящихся колебаний, а также к сложным процессам, когда колебания (автоколебания или внешние вибрационные помехи) накладываются на медленно меняющуюся составляющую основного процесса управления.

ТЕОРЕМЫ ОБ СУЩЕСТВОВАНИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
ВОЗНИКАЮЩИЕ ИЗ МЕТОДА ОПИСЫВАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ

Яцек Кудревич

Институт Автоматики  
Польской Академии Наук  
Варшава, ПОЛЬША

В статье рассмотрена нелинейная система с обратной связью описана уравнением

$$x(t) = \int_0^{\infty} u(t - \tau) dh(\tau) + z(t); \quad u(t) = [fx](t) \quad (I)$$

где  $h(t)$  - функция с конечным изменением,  $F$  - оператор преобразующий множество периодических функций в себе,  $z(t)$  - периодическая функция. Функция  $h(t)$  и оператор  $F$  характеризуют относительно линейную стационарную часть системы и нелинейный элемент, а функция  $z(t)$  обозначает внешние возбуждение.

Для приближенного исследования периодических колебаний в системе (I) часто используется методу описывающей функции. В статье даны две основные теоремы об существовании периодических решений уравнения (I) в определенной окрестности приближенного решения полученного методом описывающей функции. Первая теорема относится к неавтономным системам в которых период колебаний определенный периодом возбуждения  $z(t)$ . Вторая теорема относится к автономным системам в которых период колебаний надо вычислить.

В доказательствах теорем, уравнение (I) /с компактным оператором/ сводится к уравнению в двумерном пространстве и исследуется это уравнение при помощи топологического метода вращения векторного поля. В добавленных примерах для данной формулы оператора  $F$  добирается Банаховые пространство в котором надеемся найти решение уравнения (I). Один из примеров относится к системе с нелинейным элементом имеющим разрывную характеристику.

АНАЛИЗ УСТАНОВИВШЕГОСЯ СОСТОЯНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ  
СИСТЕМ И ГАРМОНИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ С МНОГИМИ  
ВХОДНЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ.

Р.Г.Си, А.Г.Вакроус(Эсистент Профессор)

Деп.оф Илектрикэл Энджиниринг Иллинойс Инститют  
оф Текнолоджи. Чикаго, Иллинойс 60616, США.

Метод описывающих функций(метод гармонического баланса) рассмотрен как особый случай более общей проблемы определения амплитуды любой частотной составляющей на выходе однозначной нелинейности с многочисленными входными частотами. Используя степенные ряды, преобразование Фурье и ряды Фурье по отношению к представленным нелинейным характеристикам вход-выход, найдены три формулы для амплитуды любой входной частотной составляющей. Формула, основанная на рядах Фурье, отображающих нелинейность, представлена детально с рассмотрением методики вычисления с целью очень быстрого определения входной амплитуды.

Как важный особый случай(в теории автоматического управления) указанных выше методов рассмотрен способ точного отображения и эффективной числовой аппроксимации для гармонических функций со многими входными переменными.

Этот метод обобщен для случая, когда входные частоты гармонически связаны. Показано, что формула для любой выходной амплитуды в этом случае дана в виде рядов Фурье(с учетом входной амплитуды), с коэффициентами которые зависят только от входной амплитуды. Показано, что эти ряды быстро сходятся допуская эффективный численный расчет. С другой стороны описывающие функции в проблеме гармонически связанных входных частот являются

частными случаями этого метода.

В качестве примера рассмотрена субгармоническая Дуальная Входная Описываемая Функция (Д.В.О.Ф.) и установлена ее взаимосвязь с Д.В.О.Ф. для случая независимых входных частот. Приведены типовые кривые и рассмотрены численные методы использования для их расчета. Посредством этих кривых исследована третья субгармоника колебания системы.

Р.К.Раджагопалан и Яш Паль Синг  
Отделение Электромашиностроения  
Индийский Технологический Институт  
Карагпур, Индия

АНАЛИЗ ГИРМОНИЧЕСКИХ И ПОЧТИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ  
В ВОЗБУЖДЕННЫХ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Эта статья представляет простой метод исследования почти периодических колебаний в возбужденных регенеративных нелинейных системах содержащих одну, однозначную нечетную нелинейность. Этот метод предполагает что ввод в нелинейность может быть представлен в виде основных составляющих несинхронизированных свободных и вынужденных колебаний и использует дуальную функцию характеризующую ввод нелинейного элемента для неизмеримых частот вместе с "универсальным графиком". Предложенный метод особо пригоден для исследования явлений синхронизации и десинхронизации. Его применение объяснено на примере исследования явлений вынужденных колебаний в: /1/ осцилляторе Van der Поля и /2/ системе релейной третьего порядка, для широкого диапазона амплитуд и частот начальных отклонений. Предложенный метод дает следующее преимущества: дает четкое изображение разнообразных связанных явлений, применим к системам любого порядка и остается простым также при применении к системам высшего порядка. Была проверена также возможность применения техники добавочной частотной характеристики для определения устойчивости почти периодических колебаний, что привело к вполне оригинальной идеи "Функции описывающей добавочный дуальный ввод"

Базируя на этом, обсуждено критерии устойчивости решений полученных при помощи "Универсального графика". Приведено также выражения для для нескольких нелинейных элементов.

РАСЧЕТ ОБЛАСТЕЙ НАЧАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ СИСТЕМ СТАВИЛИЗАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНЫХ КРИТЕРИЕВ

Андрю У.Майер

Ньюорк, Нью Джерси, США

Для класса замкнутых систем содержащих время-независимый элемент и нелинейный (возможно время-зависимый) элемент представлены алгоритмы для расчета границ устойчивости в пространстве состояний. Эти алгоритмы представлены в виде алгебраических соотношений включающих в себя частотную характеристику линейного элемента и определенные соотношения характеризующие нелинейный элемент. Они применимы также для расчета границ начальных функций систем содержащих запаздывающие и распределенные параметры.

В.Финдайзен  
Каф.Автоматики и  
Телемеханики  
Варшава. Польша

И.Лефкович  
Кейс Вестерн Ризэрв Юниверсити  
Кливленд, Охайо, С.Ш.А.

### Конструкция и применение многоступенчатого автоматического управления.

Статья обсуждает некоторые аспекты вопроса проектирования систем в применении к управлению комплексными и промышленными системами. Представлен иерархический подход как основной метод для исполнения процесса проектирования, следуя последовательно - итерационным приемам.

Для аспекта иерархической структуры были развиты. В иерархии многопозиционного автоматического управления, сложная система разлагается на ряд простых подсистем, из которых каждая управляет по частной модели и по частному критерию. Регуляторы высших позиций предназначены для координации частных регуляторов таким образом, чтобы лучше реализовать задачу целой системы.

В многоступенчатой структуре, сложная задача управления разлагается на более простые задачи, каждая из которых находится в форме удобной к решению при помощи существующих техник. Частичные задачи интегрируются через действие управления высшей степени учитывая назначение целой системы.

Предложена структура системы автоматического управления о обеспечивает рациональный способ упрощения вопросов управления и дает возможность эффективного использования обратной связи информации для актуализации управления или принятия решений.

Включенные в процесс проектирования являются экономические рассуждения заключающиеся в сравнении возрастающих затрат и выгодами связанными с этим процессом управления.

Иерархический подход предполагает использование электронных вычислительных машин для скоростного моделирования, переработки информации и управления.

Многие из описанных идеи и основных мысли, представлено на фоне определенной системы.

СТУПЕНЧАТАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОДУКЦИИ  
ПРИМЕНЯЯ РАЗДЕЛЬНЫЙ ВАРИАНТ МАКСИМАЛЬНОГО ПРИНЦИПА  
ПОНТРЯГИНА

Р.К. Баттачарии и Е.С. Багары

Компания Вестерн Электрик

Принстон, Нью Джерси, С.Ш.А.

и

А.Н.Бакру

Компания Целениз

Ньюарк, Нью Джерси, С.Ш.А.

В этом докладе изложен метод, который применяет раздельный вариант максимального принципа Понтрягина, для определения оптимального плана продукции для производственного процесса, принимая во внимание динамический ответ на различные решения. Оптимальная стратегия является последовательностью решений, которая доводит до минимума функцию цены по целому горизонту плана. Эта функция цены включает цену инвентаризации продукции и цены связанные с параметрами системы. Так как параметры системы имеют цену, следовательно оптимальное решение не только определяет оптимальную последовательность решений соответственно к некоторому ряду параметров, но и предлагает, если это желательно, подвергаться некоторой цене, чтобы улучшить систему параметров для достижения лучшего действия.

Алгорифм изложенный в этом докладе употребляет меньше памяти вычислительной машины чем прямое применение метода динамического программирования. Этот алгорифм был programmedирован для вычислительной машины для применения в некотором производственном процессе Компании Вестерн Электрик.

ЯВЛЕНИЕ И ЭФФЕКТ ПОТЕРИ ИНФОРМАЦИИ В ИЕРАРХИЧЕСКОЙ  
СИСТЕМЕ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРЕДУСМАТРИВАЮЩЕЙ  
УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ В ИСТИННОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Г.Г.ДЖОНСОН

Imperial College,  
London, United Kingdom

В полностью детерминистической системе теоретические величины скорости и размера могут быть оценены для любого отдельного вычислительного элемента давая тем самым возможность выбора, в некоторых пределах, наиболее подходящего состава системы для решений проблем линейного программирования.

Для системы, которая подвергается статистическим изменениям, верхняя граница стоимости может смешаться в связи с эффектом потери информации что дает снижение эффективности предусмотренного управления. Нормальное рабочее состояние системы может нарушаться по следующим причинам. Резкие изменения управляемых переменных требуют увеличения частоты замеров, что влечет за собой увеличение количества информации требующей обработки, а также времени этой обработки. Аварии снижают общую вычислительную мощность, эффекты чего могут быть уменьшены прекращением второстепенных вычислений, могут привести к серьезным запаздываниям в выработке нужной для управления информации. Итерационные по природе вычисления могут давать результаты медленнее чем ожидалось приводя к созданию узких мест в отдельных вычислителях. Кроме того, любая форма работы в режиме распределения времени с программами типа **off - line**, что может быть жалательно на более высоком уровне этой иерархической системы, даст ухудшение времени ответа на требования выборки информации исходящие из более низких уровней системы.

Теория Очередей дает хорошую базу для описания моделей

потока информации, она расширяется на случай когда баланс между скоростью потока информации и временем обработки нарушается приводя к потере информации. В эту теорию включаются элементы Теории Памяти, похожим образом расширенной на случай переполнения памяти, образуя легкую для понимания систему, пригодную для анализа вычислительных систем работающих в истинном масштабе времени.

А.П.Копелович, А.А.Белостоцкий, Б.А.Власюк, Г.И.Никитин,  
В.М.Храпкин

/Москва/

### 35.3.СИСТЕМЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СЛОЖНОГО КОМПЛЕКСА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Описываются методология и результаты разработки и исследований систем оперативного планирования и управления с применением ЭЦВМ для основных участков сложного производственного комплекса "сталь-прокат" заводов черной металлургии.

Рассматривается задача оперативного /календарного/ планирования для очень крупного предприятия со сложной параллельно-последовательной структурой производства, большим числом взаимосвязанных агрегатов и разнородными производственными процессами.

Дается постановка задач и синтезируются алгоритмы следующих уровней управления: месячное оперативное планирование всего комплекса, суточное планирование всех элементов последовательно-параллельной структуры производств. Алгоритмы получены с помощью аппарата линейного программирования, усложненной задачи о значениях математической логики и математической статистики.

Приводятся и анализируются результаты опытной эксплуатации алгоритмов на УВМ вычислительного центра металлургического завода, формулируются требования к ЭЦВМ для систем такого рода.

Рассматривается задача оперативного управления крупным мартеновским цехом завода с полным металлургическим циклом. Дается характеристика производства и его связи с другими цехами завода.

Приводятся некоторые результаты обследования действующих цехов и применения статистического моделирования для изучения объектов.

Описываются структура и алгоритмы управления для системы, включающей централизованное управление железнодорожным транспортом, централизованное диспетчерское управление

цехом, оптимальное централизованное управление доводкой плавки и управляющую вычислительную машину.

Приводится анализ и дается оценка эффективности предложенных алгоритмов управления и формулируются требования к ЭВМ для систем с рассматриваемыми функциями.

Излагаются результаты исследования объекта управления как системы массового обслуживания, определены характеристики системы, сформулирован критерий управления.

Дается формализованная модель объекта как системы массового обслуживания.

Приводятся результаты опытно-промышленной эксплуатации системы на одном из металлургических комбинатов.

Дэх.Хеихурст  
Технологический Университет  
Lafboro, Lestershire, England

### Подход к автоматическим системам производств партии

В статье освещены затруднения определения подсобных целей для полных автоматических систем производств партии.

Рассмотрен вопрос расписания общих критериев оптимальизации. Кратко рассмотрены заранее использованные методы решения, в особенных случаях и предложен<sup>x</sup> геврестическая методика работы на основании обсуждения качества решения от себестоимости вычисления. Даны принятые вычислительные программы для фактических решений алгоритмного примера.

Заданный метод является полезным для других задач оптимального регулирования.

Предложенный метод использует наглядно-теоретический подход, в котором пересекаемый график - решающая цепочка, обладающая узлами на каждой из точек решения. Предназначаются значения на каждые из узлов в зависимости от критериев оптимализации и функции себестоимости. Наилучший путь через график ищется предложенным методом.

Если требуется всеобщий оптимум, предложенный метод обеспечивает экономную начальную точку для "ветвящегося и гравничного" алгоритма решения.

x/ The translator doubts whether the word exists in Russian, and comments that the word "heuristic" stems from the Greek and imples "seeking out the truth".

# ПРИМЕНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НА СТАЛЕЛИТЕЙНЫХ ЗАВОДАХ

Б.Б. Хиклинг

Парк Гейт Айрон энд Стил Компани Лтд  
Англия.

1.0 Решение использовать вычислительные машины на "Парк Гейт Айрон энд Стил Ко. Лтд" было принято при планировании компанией крупного расширения производственных возможностей. Для обеспечения планового обслуживания всего завода и прямого управления одним из ключевых участков были введены вычислительные машины.

2.0 Система основана на трёх основных архивных магнитных лентах, на которых регистрируются поступающие заказы, данные продукции, находящейся в процессе производства и запасы слитков и полуобработанной стали на складах. Данные этих архивных магнитных лент ежедневно уточняются 20 раз в соответствии с производственными данными, поступающими с завода.

3.0 Много информации, выдаваемой вычислительной машиной, предназначается для оказания помощи управляющим в лучшем понимании деятельности завода и направлении их внимания на участки, на которых должно сосредотачиваться их внимание.

## 3.1 Ежеминутное управление

Ежеминутное управление концентрируется на обжимном стане. Вычислительная машина предназначается для координации операций операторов станов с автоматическим управлением для достижения максимальной пропускной способности. Это достигается с помощью управляемой вычислительной машиной системы индикации, которая управляет из пункта управления производственным процессом. Информация выдаётся операторам станов на электронно-лучевых экранах, на которых вычислительная машина выдаёт инструкции, касающиеся проходящих через стан слитков.

## 3.2 Ежедневное управление

Ежедневное управление осуществляется системой производственного планирования, основанной на вычислительной машине. Задача отдела производственного планирования заключается в нахождении способа группирования поступающих заказов, сперва по качеству литья, а затем в партии прокатки по размеру.

## 3.3 Долговременное управление

Для предоставления отчетов бухгалтерам, металлургистам, предсказателям продажи и проч. основные архивы суммируются понедельно и помесечно.

4.0 Усовершенствование существующих систем ограничивается мощностью вычислительных машин, неточностью данных цеха и задержкой информации из производственных отделов. Для решения этой задачи планируется производственный проект, который заменит две центральных вычислительных машины одной мощной машиной с запоминающим устройством на дисках. Сообщения, касающиеся производства будут непосредственно вводится в эту вычислительную машину через 50 телепринтеров.

Б.Н.Петров, Н.П.Колпакова, В.А.Васильев, А.И.Павленко  
/ Москва /

### 24.3. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СИНТЕЗА СТРУКТУР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДВИЖЕНИЕМ ОРБИТАЛЬНОГО САМОЛЁТА В АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Условия полёта орбитального самолёта на гиперзвуковых скоростях требуют учёта взаимного влияния продольного и бокового движения даже на сравнительно малых углах атаки и скольжения. В связи с этим представляет интерес исследовать множество  $G$  структур системы управления орбитальным самолётом в классе связанных многоканальных систем, обеспечивающих независимость или малую зависимость каналов регулирования или их групп.

В докладе ставится задача получения всего множества структур  $G$  и выбора лучшей САУ как в смысле качества процессов, так и простоты её реализации.

В качестве основы структурного представления систем управления орбитальным самолётом принимаются графы без петель, что в значительной степени облегчает исследование внутренних связей координат в объекте, позволяет производить выбор регулирующих органов из условия наибольшей эффективности их в процессе регулирования, а также позволяет определить множество структур селективно инвариантных систем. При этом упрощается подход к анализу и синтезу системы в целом.

В процессе определения множества структур

$G = \{M_1, \dots, S_1, \dots, P_1, \dots\}$  получены основные алгебраические зависимости для преобразования многоканальных систем. При этом для получения передаточных функций по интересующим координатам не требуется решений уравнений системы или применения аналогов правила Крамера.

Доказывается ряд теорем для построения множества селективно инвариантных систем. Определяются множества структурных схем в виде структурных графов  $M = \{M_1, \dots, M_\ell\}$ , правдеревьев  $S = \{S_1, \dots, S_n\}$  и автономных групп каналов

$P = \{P_1, \dots, P_\ell\}$ . Получены формулы для определения количества дополнительных связей в системе управления, обеспечивающих селективную инвариантность отдельных каналов или их групп.

Показывается, что при равных или весьма близких по своим динамическим свойствам операторных связях координат в объекте и одном входном сигнале отдельные виды структур всего полученного множества становятся эквивалентными не только по одной, но и по нескольким регулируемым координатам.

Исследование множества  $G = \{M_1, \dots, P_1, \dots, S_1, \dots\}$  структур системы управления полётом гипотетического орбитального самолёта позволяет выбрать лучшую из них как в смысле качества процессов, так и простоты реализации.

ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ГРАФИКИ  
СРЕДНЕКУРСОВЫХ КОРРЕКТИРОВОК СКОРОСТЕЙ.

Thomas B. Murtagh  
NASA Manned Spacecraft Center  
Houston, Texas  
USA

Представлены технические приемы предсказания оптимальных графиков среднекурсовых корректировок скоростей с учетом заданного и переменного времени прибытия. Отмечены некоторые ограничения теории и даны предложения для их устранения путем изменения формулировки уравнений отсчета оптимального времени. Теоретические результаты сравнены с результатами симулирующей программы, использующей наземный радиолокатор и данные следящего бортового секстанта, обработанные фильтром Кальмана для двух типовых межпланетных переходов. Показано, что согласованность теории с симулирующей программой возрастает с ростом количества радиолокационных данных, а также, что теоретические уравнения отсчета оптимального времени дают возможность точного первого подсчета для выработки графиков межпланетных среднекурсовых корректировок скоростей.

Пономарев В.М., Городецкий В.И.  
Ленинградский Государственный Университет  
им.А.А.Жданова, Ленинград, СССР

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ  
УПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО  
АППАРАТА

Рассматривается атмосферный участок снижения космического аппарата. Влияние возмущений на внеатмосферном участке учитывается заданием случайных начальных условий по фазовым координатам в момент входа в атмосферу.

В качестве критерия оптимальности управления выбирается дисперсия кругового отклонения точек приземления космического аппарата.

Предполагается, что управление осуществляется изменением углов атаки и рыскания, которые задаются в виде линейных комбинаций отклонений фазовых координат от программных. Последние заданы в виде зависимостей от пути по трассе космического аппарата.

Рассматривается алгоритм решения задачи статистической оптимизации с привлечением методов нелинейного программирования. Рассматриваются некоторые приемы, которые позволяют существенно улучшить сходимость процесса оптимизации.

Получено решение данной задачи, которое говорит о большой эффективности закона управления предложенной структуры.

А.Г.Власов, И.С.Уколов, Э.И.Митрошин  
/Москва/

## 6.2. СТОХАСТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СПУСКОМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА В АТМОСФЕРЕ

Рассматриваются вопросы, связанные с синтезом автономной системы управления дальностью космического аппарата на этапе спуска в атмосфере. Источником информации служит погрузка, измеряемая в связанных осях космического аппарата, а управляющим воздействием является угол крена.

Система управления строится с использованием номинальной траектории. Предполагается, что в контур системы управления входит бортовая ЦВМ, с реальными требованиями по быстродействию и памяти.

Исследуемый динамический процесс описывается следующей системой уравнений, заданной на отрезке  $[0, T]$ :

$$\dot{x} = X(x, u, t), \quad (1)$$

$$\dot{x}_v = A(x, u, t)x_v + B(x, u, t)u + \varepsilon(t), \quad (2)$$

$$y = H(x, u, t)x_v + \xi(t), \quad (3)$$

где (1) описывает движение вдоль номинальной /невозмущённой/ траектории, (2) описывает возмущённое /линеаризованное/ движение, (3) описывает получение информации о текущем состоянии возмущённого движения по результатам наблюдений.

Границные условия на концах записываются в виде

$$\begin{aligned} x(T) &\in \{x : g_k(x) = 0\}, \\ x(0) &\in \{x : g_0(x) = 0\}; \end{aligned} \quad (4)$$

$x, (t)$  – вектор случайных величин с известными характеристиками.

Требуется для динамической системы (1), (2), (3) с граничными условиями и ограничениями минимизировать функционал

$$M\omega[x, (T)], \quad (5)$$

где  $M$  – знак математического ожидания;  $\omega$  – скалярная положительная функция, зависящая от  $x, (T)$ .

Рассматривая отдельно возмущённое движение /система (2), (3)/ как стохастическую задачу оптимального управления конеч-

ным состоянием (5), удаётся с использованием понятия достаточных координат, введённого Стратоновичем Р.А., разбить блок оптимального управления возмущенным движением на два независимых блока. Первый из них является блоком оптимальной фильтрации, а второй - блоком оптимального регулятора, который структурно инвариантен относительно параметров динамической системы (2), (3). Это позволяет задачи программирования номинальной траектории и обеспечения её фактической реализации /система (1), (2), (3) / рассматривать во взаимосвязи с использованием единого критерия (5).

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ПРИ ВХОДЕ В АТМОСФЕРУ

Д. Е. Охочимский, А. П. Бухаркина, Ю. Ф. Голубев

(Москва)

Доклад посвящен проблеме управления движением в атмосфере космического аппарата, возвращающегося к Земле со скоростью порядка второй космической. Предполагается, что аппарат располагает небольшой подъемной силой и движется с постоянным углом атаки. Управление происходит за счет изменения угла крена. В систему управления включена ЦВМ.

Алгоритм использует измерения трех взаимно-перпендикулярных акселерометров на стабилизированной платформе, что позволяет просто решать навигационную задачу. Допускается, что отклонение плотности атмосферы от стандартного распределения меняется вдоль траектории полёта достаточно плавно. Это позволяет производить в ограниченных пределах экстраполяцию и прогноз ситуации на ближайшее время.

Алгоритм построен так, что в случае необходимости система управления стремится заранее создать запас управляемости для парирования тех возмущений, появление которых по данным прогноза можно ожидать в ближайшем будущем.

Управление производится подбором на ближайший интервал времени постоянной скорости поворота аппарата по крену, обеспечивающей попадание в заданную точку. Возможные значения скорости лежат в интервале, длина которого постоянна, а срединой является скорость разворота, которая была непосредственно до момента коррекции. Такие ограничения вытекают из анализа реальных возможностей управления.

Предполагается, что после истечения интервала времени, на котором производится подбор скорости поворота, угол крена, меняясь по линейному закону, выходит на некоторый средний угол крена, представляющий собой специально подобранный функцию времени. Адаптация достигается путем внесения необходимых изменений в средний угол крена в зависимости от обнаруженных атмосферных вариаций.

Приведены некоторые результаты расчетов, иллюстрирующие эффективность алгоритма при преодолении больших вариаций плотности, а также качество регулирования.

Ю.П.Плотников  
/Москва/

## 55.2. СТОХАСТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ РАКЕТОДИНАМИКИ

Излагаются методы решения тех задач управления движением летательного аппарата, при решении которых нецелесообразно раздельное изучение программного и возмущенного движений. Такие задачи назовём стохастическими задачами ракетодинамики. Формулируется задача оптимизации по единому критерию детерминированного программного и стохастического возмущённого движений. Эта задача решается привлечением достаточных условий абсолютного минимума стохастических управляемых систем. Последние условия есть обобщение на стохастические системы общего вида соответствующих условий оптимальности детерминированных систем В.Ф.Кротова.

Для линейной модели стохастического возмущенного движения получен алгоритм решения задачи оптимизации на ЭЦВМ.

А.Я.Андринко  
/Москва/

#### 24.4. СТАТИСТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С УЧЁТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ ПО СТРУКТУРЕ СИСТЕМЫ

При разработке бортовых систем автоматического управления космических объектов важное значение имеют требования надёжности, выполнение которых облегчается в случае простых структурных схем систем управления. Поэтому синтез оптимальных систем целесообразно проводить с учётом ограничений, накладываемых на структуру. Можно указать три вида таких ограничений: ограничение по ёмкости памяти управляющего устройства; ограничение по числу устройств, воспроизводящих коэффициенты алгоритма работы управляющего устройства; ограничение по виду операций, которые могут быть реализованы в управляющем устройстве.

При использовании в составе системы управления бортовой цифровой вычислительной машины становится рациональным применением дискретных алгоритмов управления.

В докладе предлагаются статистические методы синтеза импульсных систем с учётом указанных ограничений. Эти методы излагаются применительно к системам терминального управления. Ограничение по ёмкости памяти достигается за счёт ограничения объёма информации, перерабатываемой в управляющем устройстве при формировании управляющего сигнала. При этом решение задачи синтеза осуществляется на базе теории статистических решений и динамического программирования.

Учёт ограничений второго вида может быть осуществлён приближенно в результате оптимизации программы следования во времени интервалов квантования импульсной системы.

При синтезе систем с ограничением третьего вида считается, что в управляющем устройстве могут быть реализованы только алгебраические операции. Синтез осуществляется с применением экспериментального метода статистической линеаризации, проводимого с помощью ЭЦВМ при ограниченном числе реализации процессов управления.

А.А.Лебедев, М.Н.Красильщиков, В.В.Малышев  
/Москва/

#### 55.4. ОПТИМАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОРБИТОЙ СТАЦИОНАРНОГО ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ

Рассматривается решение технической задачи синтеза оптимальной системы управления, предназначеннной для коррекции орбиты стационарного искусственного спутника Земли /СИСЗ/ при его переводе по орбите и поддержании в заданном положении. Для управления предполагается использовать данные измерений, получаемые от станции слежения, расположенной на Земле.

При решении задачи управления по неполным данным учитываются случайные ошибки измерений и случайные ошибки реализации корректирующих импульсов как аддитивные, так и мультипликативные.

Анализируются вопросы: выбора алгоритма оптимальной обработки информации, получаемой в результате измерения; выбора алгоритма оптимальной коррекции, который обеспечивает требуемую конечную точность при минимальных энергетических затратах; выбора минимального числа измерений и частоты измерений, необходимых для реализации полученного алгоритма коррекции; определения оптимальной скорости выведения СИСЗ.

Для решения задачи используется понятие достаточных координат и метод динамического программирования.

С целью проверки ряда инженерных допущений, сделанных при решении задачи, проводится моделирование синтезированной системы управления методом статистических испытаний.

Приводятся расчётная блок-схема системы управления и результаты моделирования.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗДЕЛИМЫХ СИСТЕМ  
В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С. Бай Йоргенсен и М. Киммель

Факультет химической техники Датского высшего  
технического учебного заведения  
Лингби, Дания

Многие объекты химических заводов составляют разделимые системы или каскадные разделимые системы.

Представлены математические модели нескольких элементов физических систем. После дискретизации разделимых элементов осуществимо моделирование системы с учетом как помех входного потенциала, так и помех скорости течения любой перемещаемой жидкости. Исследована зависимость статической и динамической точностей моделирования от помех различного типа. Обсуждена корреляция между требуемым числом секций и точностью в зависимости от поля течения и различных помех.

Результаты представлены в графической форме.

Моделирование нижеперечисленных технологических объектов проверено аналоговой и цифровой техникой:

теплообменник "пар-жидкость"

теплообменник "жидкость-жидкость" с противотоком  
трехфазовый псевдоожженный слой

Представлены частотные характеристики , полученные путем аналоговых и цифровых вычислений.

Опыт подтвердил теорию. Эти результаты дают возможность моделировать динамические соотношения, вызываемые помехами скорости течения и входного потенциала для группы разделимых химических систем а также вычислить точность проводимого моделирования.

## МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ С НЕПОДВИЖНЫМ КАТАЛИЗАТОРОМ

Э.Д. Гиллес, Б. Любек, М.Зейц  
Институт химической технологии  
Высшего технического учебного заведения  
Дармштадт, Федеративная Республика Германии

В докладе рассматривается новая математическая модель катализического реактора с неподвижным катализатором. Эта модель содержит фазу протекания и фазу покоя, выступающие совместно в теплообмене и в обмене веществ. Таким образом для описания реактора необходимо составить два баланса энергии и два баланса веществ. В предельном случае бесконечно сильного обмена веществ и теплообмена эта двухфазная модель переходит в известную диффузионную модель. Показано, что на аналоговой вычислительной машине можно при помощи модального метода моделирования создать подобие двухфазной модели. Обсуждаются результаты моделирования реактора с неподвижным катализатором, работающим в замкнутом цикле.

В заключение проводится анализ устойчивости диффузионной модели.

## СИСТЕМА ЗА ОПТИМАЛЬНЫМ РЕЖИМОМ ГИДРОГЕНИЗАЦИИ

Кэисуке Изава и Хироти Окамото

Отдел Техники Управления  
Токийский Технологический Институт  
Мегуро-ку, Токио, Япония

### Очерк

Эта статья описывает режим гидрогенизации ацетилена таким образом, что молевая фракция промежуточного продукта ацетилена сохраняется в максимальном количестве. Система за оптимальным режимом построена следующим образом:

Смесь водорода и ацетилена направляется в реактор-колону с постоянным соотношением смеси и небольшая часть выражается на приборе в форме "M - sequense signal."

Небольшая часть поступающей смеси проходящая через реактор направляется в трубу заполненную силикагелем. Корелационная функция между выходящим сигналом от прибора для измерения скорости течения установленного на внешней стороне заполненной трубы и запозданным сигналом "M - sequense" показывает нужные показатели процесса. Высшее положение корелационной функции показывает хорошую оценку кривой получаемого этилена зависящего от скорости выходящего потока. Скорость выступающего газа управляется автоматическим оборудованием прямо пропорционально к этому спуску кривой.

Эта статья касается теоретического обоснования системы оптимального контроля и его экспериментального изучения и показывает результат для испытания оборудования процесса гидрогенизации ацетилена. Исследование также содержит моменты касающиеся упрощения оптимального управления.

Алгоритм управления производства мочевины

Л.Щутек, Б.Франкович

Доклад рассматривает предлагаемую систему оптимального управления производством гранулированной мочевины. Приводятся методы, при помощи которых эта проблема была решена. Указывается на то, каким образом используется математическая модель в алгоритме оптимального управления. Рассматриваются две целевые функции как критерий для оптимального управления процессом. Эксперименты производились на гибридно-вычислительной машине и полученные здесь результаты переносились для управления процессом.

На основе полученных результатов можно сказать, что предложенная система оптимального управления является в данных условиях и ее рентабельность в данном случае зависит от количества произведенного продукта и примененного типа процессора.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ  
СИНТЕСА АМИАКА.

Бурианец З., Бурианова И., Грушка М., Сихровски А., Химико-  
технологический институт в Праге,  
Чехословакия.

Реактор синтеза аммиака представляет собой процесс, зависящий от многих параметров и сложной внутренней структуры. Для сохранения условий оптимального режима управления необходимо применить вычислительную машину.

Одной из главных задач управления является определение математической модели технологического процесса. Были составлены теоретические модели - статическая и динамическая (точная и сложная модель, приблизительная и простая модель), которые были проверены в производстве аммиака, с применением псевдослучайного двоичного сигнала. На основе этого была решена задача составления оснований для оптимального управления с применением метода динамического программирования.

## АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ЦВМ-ЧЕЛОВЕК ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Р.Таваст

Л.Мытус

Рассматривается система управления непрерывным химическим процессом, включающая цифровую вычислительную машину (ЦВМ) и человека, выбирающего окончательное решение.

Стационарное поведение управляемого объекта описывается нелинейной моделью, которая основана на физико-химических закономерностях процесса. В модели содержится вектор неизвестных параметров.

В начальный период работы объекта определяются симультанные нелинейные оценки параметров одновременно с оценкой ковариационной матрицы рассогласований. Оценки параметров рекурсивно корректируются в ходе нормальной работы объекта.

Для каждого из нескольких экономических критериев формулируется задача стохастической оптимизации, которая сводится к детерминистской задаче нелинейного программирования.

ЦВМ выдает человеку сводку показателей процесса, оценки параметров, результаты оптимизации по заданному критерию и ограничениям и результаты моделирования заданных режимов.

Система внедрена в промышленность для управления процессом производства формалина с использованием ЦВМ Минск-22.

R.L. Carstairs

B.H. Bickers

Atomic Power Constructions

Sutton, England

Определение устойчивости аксиальной формы нейтронного потока в пространстве у охлаждаемого газом энергетического реактора с входящим потоком теплоносителя и автоматическим регулированием мощности

Конвенциональное автоматическое регулирование установившись режима работы газом охлаждающих энергетических реакторов основано на принципе содержания постоянной температуры газа при выходе.

Аксиальная форма нейтронного потока не регулируется. Ее устойчивость в пространстве зависит от баланса между нейтронной утечки и неустойчивых эффектов как например положительный температурный коэффициент реактивности и изменение Хе-135 во времени. Устойчивость в пространстве тоже зависит от системы регулирования и от глубины погружения регулирующих стержней.

У реакторов с одним направлением потока теплоносителя эффекты формы нейтронного потока и глубины погружения регулирующих стержней полно изучены. Однако у реакторов с входящим потоком теплоносителя взаимодействия между параметрами очень сложные. Кроме вышеупомянутых эффектов устойчивость в пространстве зависит и от отношения входящий/впередний поток теплоносителя и теплопередачи между цепи теплоносителя.

Переходное решение система распределенных параметров, которые функции во времени и пространстве, показался громоздким для проектировочную работу. Эта работа описывает упрощение представления системы с входящим потоком теплоносителя, которое позволяет использование быстрых и экономических методов решения как например метод повторяющихся траекторий. Результаты для типичных усовершенствованных охлаждаемых газом реа-

кторов, представляемые, рассматриваемые и сравниваемые с переходным решением система распределенных параметров.

Сравнение показывает хорошее соглашение.

Математические модели динамического свойства  
паронагреванных теплоизмеников регулированных  
на паровой или конденсатной части

Теплоизменики принадлежит в класс систем автоматического регулирования с распределенными параметрами, которых частотная характеристика является трансцендентной функцией которая в практическом использовании /например дипензирование систем автоматического регулирования, симулация на аналогических или цифровых вычислительных устройствах/ только трудно осуществляется. Поэтому для паронагреванных теплоизмеников были изработаны простые математические модели, которые возможно легко использовать и которых динамические свойства достаточно описаны.

В случае конфигурации регулирующего органа на парной части действует этот на течение пара и при конфигурации на конденсатной части действует регулирующий орган на течение конденсата.

В случае конфигурации на парной части нужны различные математические модели, которые зависят по градиенту давления на регулирующем кране, что он является надкритическим или подкритическим.

Конфигурация на части конденсата является невыгодной в значительно медленных реакциях при изменении положения регулирующего крана.

Динамические свойства теплоизмеников в зависимости от нагрузки здесь изображены и сравнены. Показано, что для небольших нагрузок существует опасность неустойчивости системы регулирования.

Измерения на реализованных теплоизмениках утверждают теоретические результаты.

# ТЕПЛОВЫЕ ФУНКЦИИ ПЕРЕНОСА ДЛЯ ПОЛОГО ЦИЛИНДРА С ГЕНЕРАЦИЕЙ ТЕПЛА

Е. Козимо, С. Петрарка

Решается проблема генерации тепла и его передачи в радиальном направлении в полом цилиндре при допущении, что его проводимость и способность к диффузии могут считаться постоянными.

Рассматриваются два случая: когда обе поверхности цилиндра находятся в контакте с металлическими оболочками или с двумя жидкостями; в этом последнем случае зависимость коэффициентов конвекции от пропускных способностей становится линейной.

Посредством трансформации Лапласа извлекаются функции переноса с температурой на контуре, с насыщенности термической мощности и с пропускных способностей двух жидкостей на температуру цилиндра. В частности даются функции переноса для средней температуры и для поверхностных температур цилиндра; из данных формул можно, во всяком случае, вывести температуру любой точки цилиндра.

Трактовка осуществлена на основании трех беспространственных параметров:

$$R = R_i / R_e \quad , \text{ отношение между радиусами;}$$

$$H = h_i / h_e \quad , \text{ отношение между коэффициентами теплового обмена на двух поверхностях цилиндра;}$$

$$M = R_e h_e / K \quad , \text{ номер Биота для внешней поверхности;}$$

и беспространственной переменной:

$$a = f R_e \sqrt{s / \alpha}$$

( $s$  = переменная Лапласа,  $\alpha$  = способность к диффузии).

Дается разработка функций переноса в сериях Хэвисайдса и показывается, что их можно приблизить посредством небольшого числа величин.

Поляры этих функций переноса получаются из корней уравнения:

$$[H M J_0(Ra) + a J_1(Ra)] [M N_0(a) - a N_1(a)] - [H M N_0(Ra) + a N_1(Ra)] [M J_0(a) - a J_1(a)] = 0$$

( $J_0, J_1, N_0, N_1$  = функции Бесселя).

Результаты этой работы применяются к коллекторам горячего многих ядерных реакторов, к металлическим трубам согреваемым электричеством или посредством индукции, к трубам теплообмена, к трубам через которые проходят горячие жидкости; они могут служить как для изучения термодинамики целых сооружений, так и для анализа тепловых нагрузок отдельных составных частей.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИКИ ТЕПЛООБМЕННИКОВ  
ИСХОДЯ ИЗ ИХ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Г. ДАВУСТ

Для определения динамики теплообменника при возмущениях различного происхождения, чаще всего требуется долгие и деликатные испытания, выполняемые на установке при различных режимах действия.

В данном исследовании, это определение основано на теоретическом методе, уточненном профессором ПРОФОС. Когда дело касается современных тепловых станций, этот метод позволяет определить функции переноса, связывающие выходную температуру теплообменника со следующими тремя главными входными значениями : Температура пара при входе в теплообменник, расход пара и тепловые возмущения внешнего происхождения. Это определение очень легко выполняется употребляя исключительно nomogramмы и графики ; оно приводит к передаточным функциям простой многочленной формы типа

$$\frac{K}{(1 + T_p) \eta} \quad \text{или} \quad \frac{K' (1 + \alpha T_p)}{(1 + T_p) (1 + \beta T_p)}$$

которые можно сейчас же использовать для уточнения схем регулировки классическими методами. Эти абаки и эти кривые были нарисованы для французских тепловых блоков в I25, 250 и 600 MW (параметры I25 бар - 545° C - 545° C и I63 бар - 565° C - 565° C ).

Для их употребления требуется лишь знать структурные характеристики теплообменника и его режим действия.

Таким образом, возможно, при концепции новой станции, заранее определить наиболее подходящие регулирования температуры, а на существующей установке, улучшить действие системы без нарушения работы станции.

К ВОПРОСУ О ДИНАМИКЕ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА ПО ТРУБО-  
ПРОВОДАМ И КАНАЛАМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГАЗОВ В  
КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Герберт Д. Айгнер

СГАЕ

Вена, Австрия

Вопрос этот возникает, например, при охладительном канале реактора с газовым охлаждением, где тепло подводится вдоль канала, или же при передаче тепла с отопительной теплоэлектроцентрали, где применяется изолирование трубопроводов для снижения тепловых потерь. Исходя из уравнений сохранения массы, момента и энергии, а также из уравнения состояния идеального газа, с математической строгостью решаются стационарные уравнения, а динамические уравнения линеаризуются. Трение и сила тяжести не учитываются. В расчетах учитывается термоконвекция с пренебрежением теплопроводности, а в дальнейшем теплоемкость газа при постоянном объеме рассматривается как постоянная величина. Кроме того, в расчете принимается, что плотность газа, его скорость, давление и температура в каждом сечении канала являются постоянными величинами. Более подробно рассмотрен случай постоянного обогрева вдоль канала.

Динамические реакции в теплообменниках поперечного проплыva.  
Масами Мастубучи

Иокохама, Народный Университет, Охока-Мачи, Минамику  
Иокохама, Япония.

Анализируются динамические реакции в теплообменниках по -  
перечного проплыva с двумя жидкостями смешанными, одной жид-  
костью смешанной и двумя жидкостями несмешанными.

Показаны главные дифференциальные исчисления для этих  
трех припадков, но они не соизмеримые так как система раздела  
и функция переношения перемен температуры входящей жидкости  
получаются техникой преобразования ляпляса.

Результаты показаны реакцией частоты для припадков, где  
емкость стен была принята во внимание и являлась главным фак-  
тором и там где емкость стен не была принята во внимание.

Сравнено результаты несоизмеримых параметров.

С.В.Емельянов, Н.Е.Костылева, В.И.Уткин  
/Москва/

#### I4.2. СИСТЕМЫ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Рассматриваются принципы построения систем с переменной структурой для управления объектами, описываемыми дифференциальным уравнением вида:

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = A\bar{x} + B\bar{u},$$

где  $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$  — вектор, характеризующий состояние системы;

$A$  — матрица с элементами  $a_{ij}$ , которые могут изменяться во времени;

$B$  — матрица с постоянными элементами;

$B_{ij}$ ,  $\bar{u} = (u_1, \dots, u_m)$  — вектор управления.

Выбирается такой алгоритм изменения структур системы, при котором последовательно понижается порядок дифференциального уравнения движения, и за счёт этого обеспечиваются требуемые динамические свойства системы. Выделяются случаи, когда для реализации полученного алгоритма требуется информация о параметрах управляемого объекта. Для этих случаев создаются дополнительные контуры идентификации, построенные на принципах систем с переменной структурой, и показано, что при выполнении определённых условий управляющие воздействия в этих контурах связаны с параметрами объекта функциональной зависимостью. Выбирая соответствующим образом число и структуру этих контуров и измеряя управления в них, можно получить систему алгебраических уравнений, решение которой и является совокупностью неизвестных параметров. На основе этой информации реализуются полученные алгоритмы управления многомерными объектами.

М.Вукопратович

Р.С.Рутман

### Структурные свойства динамических систем

В докладе определены отношения между параметрической инвариантностью и нулевой чувствительностью. Кроме этого данна топологическая формула для чувствительности системы представленной линейным направленным графом.

Определены необходимые и достаточные условия нулевой чувствительности в аналитической форме. В докладе находятся тоже алгоритмы для синтеза инвариантных систем второго и третьего порядка.

Также утверждена связь между условиями нулевой чувствительности и наблюдаемости как и качество управляемости на основе взаимодействий вектора параметров системы .

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКИЙ  
УПРАВЛЕНИЯ ТИПА-Т(ПСУ-Т)ДЛЯ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ.

Армандо Фагоупе

Инженер, профессор, Химико-инженерный ф-т. Санта. Фе  
ИМАФ-Кливерсити оф Кордоба-Кордоба, Аргентина.

На Симпозиуме ИФАК-а по многосвязным системам проведенном в Дюссельдорфе(Германия) в октябре 1968г.был представлен доклад по методу передаточных функций управления типа-Т(Метод ПСУ-Т), который описывает матрицу аппроксимирующую получение функциональной зависимости между входными и выходными переменными систем. В этом методе была усовершенствована нового типа матрица, названная самоорганизующейся, посредством которой могут быть быстро получены нужные передаточные функции составляющих субсистем.

В этой работе метод был дополнен посредством его усовершенствования, а одновременно обращено внимание на проблему получения требуемых ответов системы при адекватном использовании векторов управления, которые воздействуют на систему совместно с нормальным входным сигналом управляемой системы и которые в общем случае рассмотрены как помехи.

В заключение приведен возможный вариант применения в аналого-цифровой системе.

В.В.Величенко

### I.5. К ПРОБЛЕМЕ СИНТЕЗА ИНВАРИАНТНЫХ СИСТЕМ

В работе решается задача о синтезе корректирующей цепи, обеспечивающей инвариантность по возмущению заданного показателя качества исходного нелинейного объекта. Показано, что решение задачи синтеза обеспечивается прогнозированием невозмущенного движения системы и в случае, когда имеется полный интеграл невозмущенной системы, может быть определено в явном виде.

Метод решения использует сформулированные в работе необходимые и одновременно достаточные условия инвариантности, получаемые на основе методов теории оптимальных систем и развиваемой в работе техники больших вариаций функционала.

Приведены примеры синтеза корректирующих цепей.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КЛАССОМ СЛУЧАЙНО-  
ВОЗБУЖДЕННЫХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ  
ПАРАМЕТРАМИ.

Фред Ф. ТАУ,  
Эароспейс Рисерч Сентер Дженерал Пресижен Систем  
Инк. Литл Фолс, Нью Джерси, США.

Закон оптимального управления выведен для класса случайно - возбужденных систем с распределенными параметрами которых характеристика процессов может быть выражена членами функции Грина. Представлен анализ для случайно-возбужденных диффузионных процессов, однако результаты распространяются и на процессы более высокого порядка. Используя обратный оператор получаем в другом случае и свойства распределенных марковских процессов, а хорошо известная теорема разделения случайного возбуждения для процессов с сосредоточенными параметрами распространяется на случай распределенных параметров. Представлен числовой пример управления диффузионным процессом с наблюдаемыми шумами, а также рассмотрена проблема определения точечной чувствительности.

Н.А.Бабаков, Д.П.Ким  
/Москва/

## 50.2. ОБ УСЛОВИЯХ УПРАВЛЯЕМОСТИ В ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ

Анализируется задача пространственного преследования точкой А точки В при следующих условиях. Преследуемая точка В движется прямолинейно. Преследующая точка А имеет постоянную по величине скорость. Управлениями точки А служат ограниченные по величине угловые скорости. Скорость  $V_a$  преследующей точки А меньше скорости  $V_b$  преследуемой точки В ( $V_a < V_b$ ).

В связи с последним условием видно, что точка А не при всех начальных условиях может попасть или достичь некоторую Е-окрестность точки В. Тогда возникает задача, которая и рассматривается в докладе, - задача определения условия управляемости, т.е. условия, при выполнении которого точка А в процессе преследования настигнет точку В. Это условие в пространстве начальных условий преследования выделяет область управляемости, поэтому рассматриваемую задачу можно сформулировать как задачу определения в пространстве начальных условий преследования области управляемости.

Показывается, что условие управляемости выполняется, если экстремумы функционала удовлетворяют определенным неравенствам. Определение выражения для экстремальных значений указанного функционала связано с необходимостью решения двумерной /вектор управления точки А является двумерным/ нелинейной задачи оптимального управления. Таким образом, исходная задача определения условия управляемости сводится к вариационной задаче, точнее, двух- и трехточечной вариационной задаче с подвижным правым концом траектории. Указанный вариационная задача решается с помощью принципа максимума Л.С.Понтрягина. В результате найдена структура оптимального управления и дана схема решения первоначальной задачи.

ДИНАМИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КОСМОНАВТА К КОРАБЛЮ С ПОМОЩЬЮ ТРОСА И ПРИНЦИП СИНТЕЗА УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЛЕМ, ОСНОВАННЫЙ НА ТЕОРИИ СИСТЕМ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

СОМНИКОВ В.Н.

УЛАНОВ Г.М.

Москва

СССР

В работе рассматриваются вопросы анализа неуправляемой системы, обоснование необходимости управления для достижения заданного качества процесса возвращения и предлагается принцип построения системы управления, использующий свойства систем с переменной структурой.

Для принятой в работе модели системы исследованы возможные положения равновесия, рассмотрена их зависимость от параметров и начальных условий, определены бифуркационные значения параметров.

В окрестности практически интересных положений равновесия построено линеаризованное уравнение, представляющее собой линейное дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами типа Фукса. Свойства полученного уравнения исследуются с помощью асимптотических представлений в окрестностях особых точек и с помощью теоремы Сонина-Пойа качественно на всём интервале времени. С помощью моделирования на ЦВМ установлено совпадение свойств нелинейного, линейного уравнения и асимптотических формул.

В работе получено уравнение, описывающее систему управления возвращением, которое позволяет отнести её к классу систем с переменной структурой (СПС).

В работе показывается принципиальная возможность синтеза такой системы.

Измерение сил и моментов  
из напорно-векторной ракеты  
на проверочной стоянке,  
составленной из пяти компонентов

Пинг Тченг

Джэмз В. Мур

Эта статья описывает анализ и проект проверочной стоянки, составленной из пяти компонентов и имеющей целью проверять напорно-векторные контрольные системы у ракет, напорный предел которых есть три тысячи фунтов. У нынешних стоянок есть механический резонанс в пределе 15-и до 30-и Hz. Здесь нужные спецификации требуют относительно плоской реакции до 100 Hz. Одной чертой этой системы является ряд плоских гидростатических подшипников, которые поддерживают ракету. Эти подшипники допускают термическую раскатку параллельно к своей плоскости и доставляют очень непреклонную опору и тяжелое торможение перпендикулярно к своей плоскости. Тщательные проверки по частотной реакции показывают на то, что подшипник работает отличным фильтром. Исследование, сделанное посредством вычислительной машины на основе настоящих проверочных данных подшипника, обнаруживает отличную всеобщую системную реакцию до 100 Hz.

\*Ассистант Профессор, Колледж Старого Доминиона,  
Норфолк, Виргиния, США

\*\*Профессор механического инженерования, Университет  
Виргинии, Шарлоттсвилл, Виргиния, США

ОПТИМАЛЬНАЯ ПО ВРЕМЕНИ ПОДАЧА ЯДЕРНОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ ТЕРМИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ, БАЗИРУЮЩАЯСЯ НА МОДЕЛИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПАРАМЕТРАМИ.

Мэнфред Виттлер, Микеникэл Энджинииринг Депатмент Ренсилер Политехник Инститют Трои, Нью Йорк, США.

К.Н.Шэн, Прэфессер оф Микеникэл Энджинииринг Ренсилер Политехник Инститют Трои, Нью Йорк, США.

Температура заполнителя и топлива жидкого элемента горючего ядерной ракеты описана с помощью пары связанных дифференциальных уравнений в частных производных, зависящих от распределения силы и скорости потока топлива; последнее взято в качестве независимой регулируемой переменной. Термическое напряжение в заполнителе определяется результирующей состояния и регулируемых переменных.

Система дифференциальных уравнений в частных производных решена в интегральной форме для температуры заполнителя, температуры топлива и разности между ними. Эти интегральные выражения используются для решения следующей задачи: Определить программу управления, которая увеличивает скорость потока топлива из данного установленного уровня на более высокий фиксированный уровень, в течении минимального времени, без превышения некоторого максимально допустимого напряжения в заполнителе. Показано, что эта проблема эквивалентна задаче некоторого фиксированного конечного времени, которая требует минимизации функционала при условии, что интегральное уравнение и интегрально-дифференциальное неравенство ограничены. По сведениям авторов оптимальные условия для этой задачи еще не освещены в литературе. Авторы полу-

чили и использовали для вычисления минимального времени закон управления в завершенной форме.

Получен расчетный алгоритм для числового осуществления. Данные числовые результаты для различной степени распределений.

СИНТЕЗАТОР СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО  
ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.

Дж. А. Рэлф, Г. Дж. Беллейми.

Чекаут Системс Дивизионмент Дипатмент Интернейшнэл  
Бизнис Мэшинс Корпорейшн. Кейп Кэнавэрэл, Флорида.

До недавна вычислительные системы работающие "внутри линии" обычно направлялись на существующие операции способом "за спиной". Эта является первой невычислительной управляющей системой остающейся операционной (с непроизводственным или другим взысканием) до тех пор, пока автоматизированная система доводится к типу работы "вне линии". Перестройка была совершена в некоторой удобной общей точке с исходной управляющей системой служащей в качестве вспомогательной для вычисляющей системы.

В наши дни одновременно с производственными системами и системами выполненными "в металле" должны быть развиты последующие основные понятия автоматизированных систем, вычисляющих (а значит основных) управление процессами, или контролирующих систем (которые могут быть рассмотрены в виде замкнутых цепей управления).

Синтезатор Системы Обработки Данных Космического Летательного Аппарата (ССОД КЛА) направлен на решение проблемы независимой программы, проверяемой с помощью реального моделирования системы, с целью управления (или регулирования) и его ассоциативными измерительными выходами, аналоговыми или дискретными, априорно по отношению к существованию ее как реальной

системы. Из предлагаемой функциональной системы можно получить поток информации, который дублирует поток информации упреждения.

При учитывании среди в которой система находится в режиме контроля или управления процессом, более важным является точное представление управляющих и контролирующих элементов системы, чем точное представление физических элементов системы. Для такой среды требуется высоко-уровневый язык, который обладает свойствами стандартного цифро-аналогового языка моделирования, в дополнение к обширной дискретной (логические переменные) производительности управления, каналам передачи оператор/математическая модель и средствам обработки данных. Комбинируя эти особенности с основным цифро-аналоговым языком моделирования, синтезатор обработки данных дает средство для проектирования и проверки систем управления процессом, априорно по отношению к основной системе.

Вкратце, Синтезатор Системы Обработки Данных Космического Летательного Аппарата является системой проектированной с целью использования ее в системах космических летательных аппаратов, однако она имеет потенциальную возможность применения в других областях научных исследований. Средства приземления и физиологическая сенсорная система являются лишь двумя результатами моделирования. Другие области исследуются.

Иоахим Люкел  
научный ассистент, Дипл.инж.  
Институт механики В,  
Политехнический институт  
8000 Мюнхен 2, Германия

## СУБОПТИМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ 2 - ГО ПОРЯДКА С КОЭФФИЦИЕНТАМИ, ЗАВИСЯЩИМИ ОТ ВРЕМЕНИ

Рассматриваются системы 2-го порядка с постоянными коэффициентами. Искомым является управление  $u(t)$ , которое управляет системой из заданного начального положения таким образом, чтобы интеграл  $\int u^2 dt$  достигал минимума. Для двух случаев с различными краевыми условиями в фазовой плоскости точкообразно, с помощью обратного исчисления, определяется огибающая.

В первом случае получаем кривые, которые с достаточной точностью могут быть заменены прямыми. Повышение и перемещение прямых являются функциями коэффициентов системы дифференциальных уравнений. Кроме того можно показать, что при единичном управлении в нулевой точке фазовой плоскости возникает "седло".

В качестве перехода от оптимального управления к субоптимальному регулированию принят регулятор с двумя областями функций управления. Действие этого регулятора рассматривается на примере затухающего колебания. Полученный таким образом регулятор может быть с незначительными изменениями применен для систем 2-го порядка с коэффициентами, зависящими от времени.

Если коэффициенты системы, например, - периодические функции, то для каждой комбинации могут быть вычислены соответствующие огибающие прямые. В этом случае для регулятора получат огибающие прямые, величины которых являются известными функциями времени. Кроме того существуют, как и в случае с постоянными коэффициентами, единичные экстремальные траектории.

В качестве примера рассматривается регулирование кивающего движения сателлита. Сателлит перемещается при этом по эллиптической траектории в гравитационном поле земли.

Динамическое поведение линейного элемента порога с саморегулирующимися весами.

Ивао Моришита

департамент Инженерной Математики и Инструментальной Физики,  
Токио, Университет  
Токио, Япония.

Этот доклад говорит о линейном элементе порога, в котором каждый вес автоматически изменяется согласно с определенным законом роста. Анализ его динамического поведения проведен в месте с некоторыми результатами моделирования.

Приведены тоже некоторые возможности применения элемента.

Элемент в своем главном является слагаемым устройством.

Его производительность  $y(t)$  это взвешенная сумма вкладов  $x_i(t)$ ,  $i=1, 2, \dots, N$ , что означает

$$y(t) = \sum_{i=1}^N w_i(t)x_i(t)$$

Полагается, что вклады  $x_i(t)$  равны нулевым сигналам, но не ограничены до двойных сигналов.

Веса  $w_i(t)$  регулируются автоматически согласно с дифференциальными уравнениями

$$T \frac{dw_i(t)}{dt} + w_i(t) = \alpha x_i(t) \operatorname{sgn}[y(t)], \\ i = 1, 2, \dots, N.$$

Здесь надо заметить, что функция порога применена только для производительности взвешенной суммы.

Подробный анализ результатов уравнений показывает, что элемент стремится до разделения своих вкладов в "спектр" или семью прямоугольных слагаемых и избрать слагаемую самой большой силы для своей производительности. Это свойство позволяет ему исполнить переработку разных информации, таких как логическое решение большинства, созранение данных и фильтрация сигналов.

Эти теоретические результаты проверены некоторыми моделирующими экспериментами на аналоговой вычислительной машине.

САМОНАСТРАИВАЮЩИЙСЯ РЕГУЛЯТОР АВТОМАТА  
ДЛЯ ДИСКРЕТНО-ВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ МАРКОВА

Дж. С. Риордон

Вычисление характеристики регулятора оптимальной обратной связи для нелинейной стохастической системы можно облегчить, употребляя стохастический автомат в качестве модели. Особый интерес представляет долгодействующий стационарный процесс Маркова, в котором может быть установлено состояние системы, однако динамика процесса и характеристики возмущений первоначально не известны. В настоящей статье рассматривается соответствующий алгоритм в виде самонастраивающегося автомата в цепи обратной связи для такого процесса.

Так как алгоритм предназначен для одновременного выполнения функций оценки и регулирования, он должен представлять собой эффективный метод сводящего многоступенчатого двойного управления. Показано, что известный ранее метод двойного управления повторяющегося одноступенчатого стохастического процесса может быть применен и в данном случае. Предлагается метод последующей оценки оптимальной функции регулирования обратной связи, который дает возможность вносить поправки в оценку полученных данных на каждой стадии процесса. Применение регулятора автомата показано на примере математической модели самонастраивающегося регулирования нелинейного, условно устойчивого процесса термообработки, нарушающего шумом, который зависит от состояния системы.

А.Л.Джонс, Бак.Н., Др.Фил.,  
Д.П.МакЛуд, Бак.Н./Инж./

Ко. Эллиотт Процесс Автомэшон Лимитед  
Борхэмвуд  
Гертфордшир  
Англия

### Согласованный цифровой регулятор технологических процессов

Давно считалось, что разработка и применение дифференциальных цифровых регуляторов придерживается слишком близко развитию классической линейной теории управления. На практике, при каждой системе вычислительного управления применяются стандартные двух или трехместные алгоритмы, которые являются цифровыми эквивалентами аналоговых выражений. Только совсем недавно нашла применение теория преобразований для практического внедрения новейших теоретических достижений для управления крупными установками.

Основным затруднением при этом является необходимость точной формулировки динамики установки, что не всегда просто, нужно также принимать во внимание изменение технологических режимов.

Система управления по схеме включено - выключено обычно не обладает нужной чувствительностью к изменениям технологических режимов. В данной работе применяется цифровой вычислитель для осуществления управления по такой схеме. Во многих случаях на практике вполне возможно приводить в действие клапан по схеме включено - выключено с соразмерной частотой и тогда установка работает в качестве фильтра при выборочной частоте.

Линейная система фазирования была выбрана с таким расчетом, чтобы при самых неблагоприятных условиях режима процесса реакция все же приближалась к заданному значению по

некой показательной траектории. Были исследованы частные случаи до второго порядка включительно, в том числе моделирование возможно неустойчивых химических реакторов, реакция была всегда устойчивой. Пуск и остановка процесса также охвачены системой, т.к. значительные погрешности не приводят к затруднениям. Выбор постоянных регуляторов прост и ограничивается выборочной частотой по временным постоянным установки, имея в виду, что период изъятия проб должен осуществлять хорошую разрешающую способность.

## ЛЕГКО ОСУЩЕСТВИМЫЙ МЕТОД БЫСТРОЙ АДАПТАЦИИ РЕГУЛЯТОРОВ В ТЕХНИКЕ ПРИВОДОВ

В. Шпет, Акц. О-во Сименс

Эрланген, Германия

Описывается метод автоматической адаптации усиления регулятора к объекту регулирования и, одновременно, к диапазону частоты входного сигнала.

Особенно простым специальным случаем этого метода является логарифмическое регулирование, которое, однако, применимо только для ограниченного класса объектов.

Применение этого метода показано двумя примерами из техники приводов.

Д.Я. Свет

(Москва)

#### 48.3. О САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ ИСТИННЫХ ТЕМПЕРАТУР В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Неполнота системы уравнений распределения спектральной плотности энергии излучения при неизвестной излучательной способности не позволяет осуществить оптимальный автоматический контроль истинной температуры.

Рассматриваемые методы нелинейного преобразования сигналов от спектральных составляющих планковского излучения позволяют использовать избыточность информации для создания программы, используемой для самонастройки автоматической измерительной системы.

Реализация рассматриваемого метода в виде автоматических самокорректирующихся систем позволяет решить поставленную задачу достаточно простыми техническими средствами при непрерывном спектре излучения. Это открывает перспективу для автоматического контроля некоторых типов плазмы.

Др. т.н. Здзислав Барски

Институт Техлотехники

Польша, Лодзь

## САМОНАСТРАИВАЮЩАЯСЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВО- ЗДУХА

Теоретические и экспериментальное испытания динамических свойств промышленных объектов кондиционирования воздуха доказали, что наружные помехи (и.к. колебания наружной температуры), влияют на динамические свойства объектов особенно на соотношение времени запаздывания к постоянной времени ( $T_0/T$ ). Принимая, что характер испытанной и изложенной в докладе зависимости  $T_0/T = f(\psi)$  является одинаковым во всех случаях, поставлено тезис о целесообразности применения при автоматизации таких объектов разомкнутых, самонастраивающихся систем автоматического регулирования температуры и влажности, в которых параметры регуляторов самонастраиваются соответственно к изменяющимся свойствам объектов.

В основу анализа и формулировки условий самонастраивания положено двухпозиционный, самонастраивающийся регулятор температуры и влажности, разработанный автором для железнодорожных поездов, судостроения и промышленности (патентное свидетельство 48284). Доказывается, что коэффициенты усиления  $K_p$ , двухпозиционного, самонастраивающегося регулятора является функцией наружной температуры приводятся условия, при которых приспособливается он автоматически к изменяющимся свойством объекта, при чем диапазон и величина этого изменения согласны с оптимальными настройками регулятора ПИ или ПИД, для сигнала апериодического, при минимальном времени регулирования  $t_p$ .

В докладе анализируется работу регулятора с одним и несколькими термометрами или гигрометрами.

Доказано, что работа регулятора с несколькими контактными термометрами или гигрометрами позволяет с одной стороны усреднять измеряемые величины, а с другой стороны - прогрессивно возрастанием зависимостью связывать коэффициент усиления  $K_p$  с величиной отклонения  $\psi$ . Такая зависимость стабилизирует работу системы автоматического регулирования в диапазоне больших помех.

ЗАДАЧИ СТАТИСТИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ  
ОПТИМИЗАЦИИ МАССООБМЕННЫХ УСТАНОВОК .

В.И. ИВАНЕНКО, Д.В. КАРАЧЕНЕЦ,  
ИНСТИТУТ КИБЕРНЕТИКИ,  
КИЕВ, СССР.

Оптимизация массообменных (ректификационных, абсорбционных и др.) установок представляет собой сложную задачу из-за нелинейности характеристик массообменного процесса и наличия ряда ограничений на переменные процесса, из-за действия возмущений, приводящих к дрейфу экстремума показателя эффективности работы установки, и значительных ошибок в определении состава исходных и конечных продуктов разделения.

В докладе предлагается статистический подход к оптимизации массообменных процессов.

На примере двух типичных массообменных установок показаны основные особенности, возникающие при решении задачи синтеза систем автоматической оптимизации (САО). Одна из главных задач, решаемых САО, состоит в накоплении информации о возмущении по составу питания массообменной установки. Эта информация в рассматриваемых примерах представляется достаточными марковскими статистиками. Исследуются разомкнутая и замкнутая САО.

Оптимальная стратегия управления в замкнутой САО должна учитывать возможность активного накопления информации. Для синтеза оптимальной САО нами используются результаты, полученные в теории управляемых случайных процессов. Рассмотрен также метод определения близкой к оптимальной САО.

Указаны некоторые задачи дальнейших исследований в области статистического синтеза САО массообменных установок.

Управление циклической дистилляцией  
Гарольд Л. Уэйд , Карль Х. Джонс и Теренс Б. Руней  
Научно - исследовательские работники Об-ва Фоксборо  
Фоксборо, Масачусетс  
Лоренс Б. Ивенс  
Технологический Институт Масачусет

Исследование модели циклической дистилляции на цифровой электронно-вычислительной машине дает возможность проникнуть в проблемы управления связанные с циклическими процессами. Математическая модель показывает экспериментально полученные гидродинамические параметры процесса в течении одного цикла

Изучение системы показывает, что самая устойчивая установка получается тогда, когда подогреватель и холодильник физически отделены от колонны во время течения жидкости.

Дается также вывод, что: необходимо управление уровнем жидкости на тарелках для обеспечения удовлетворительного процесса циклической дистилляции.

## ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРЕГОННЫХ КОЛОНН

А. Маарлевельд и И.Е. Рийнсдорп  
Конинклийке - Лаборатория Шель  
Амстердам, Голландия

Проект перегонной колонны разрабатывается с учетом менее благоприятных условий, чем существующие средние эксплуатационные условия. Например, размеры охладителя подбираются такими, чтобы также при теплой охлаждающей воде и при наличии грязи и накипи в трубах обеспечить расчетную производительность. Однако, в большинстве случаев практические эксплуатационные условия не являются столь суровыми и вследствие этого охладитель имеет излишек мощности. При использовании этого излишка можно эксплуатировать колонну с меньшим давлением. При снижении давления возрастает относительная летучесть компонентов большинства углеводородных смесей, что облегчает проведение разделения. Это значит, что для получения предусмотренных по норме продуктов требуется меньше орошения и отсюда меньше подогрева. Кроме того, при сокращении количества протекаемой жидкости уменьшается нагрузка на дно, что создает возможность улучшения степени чистоты и выхода продукта, а также увеличения производительности.

В связи с тем распределение тепла между кипятильником для дополнительного нагрева остаточных продуктов и подогреватель образует дальнюю степень свободы.

В докладе сообщается о системах регулирования, которые создают возможность автоматической работы перегонных колонн при оптимальных условиях. Эти условия изменяются в зависимости от производительности перегонной колонны, температуры охлаждающей воды и т.д. Для объяснения приведены диаграммы предельных величин и система экстремального регулирования перегонной колонны отделения изопена. Система регулирования является не очень сложной и можно ее осуществить с помощью обычновенных вспомогательных средств.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТРЕХПОЗИЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТИПА ПЛЮС, МИНУС, НУЛЬ ("БАНГ-БАНГ") ДЛЯ ОПТИ- МИЗАЦИИ ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ДИСТИЛЛИАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Ф. де Лоренцо, Г. Гуардабасси, А. Локателли,  
В. Николо, С. Ринальди

Для улучшения управления работой дистилляционной колонны предлагается периодическое варьирование орошения. Исследовалось применение метода трехпозиционного воздействия типа плюс, минус, нуль ("банг-банг") для двухкомпонентной дистилляции с целью достижения наименьшего среднего орошения. Проблема оптимизации состоит в выборе одной из двух величин орошения (флегмовых чисел) и зависит от интервала времени, в котором они применяются. Наглядно показаны некоторые общие свойства такой проблемы, благодаря которым вместо оптимизации в четырехмерном пространстве можно решить задачу оптимизации в двухмерном пространстве. В конце доклада обсуждается один частный случай и представляются некоторые заключительные соображения.

Ж.Борнар - Лаборатуар д'Отоматик, Гренобль, Франция  
Ж.Дюшатель-Социете Нафтахими, Лавера, Франция  
Й.А.Мелленек - Лаборатуар д'Отоматик, Гренобль, Франция  
Б.Семр - Социете Телемеканик, Кромл, Франция

### Цифровое управление с предикцией и с обратной связью промышленной дистилляционной колонной.

Работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию управления, с помощью вычислительной машины работающей в действительном масштабе времени, суперфракционирующей колонной, ручное управление которой применяемое до настоящего времени, было очень затруднительно.

Целью управления является обеспечение постоянного качества продукции, также во время переходных процессов и обеспечение оптимального статического режима работы объекта с точки зрения экономического критерия.

Статическая и динамическая модель процесса была определена исходя из теоретических и экспериментальных исследований благодаря чему получена большая точность при относительно небольшом числе испытаний.

Эти модели были введены в память цифровой вычислительной управляющей машины.

В дальнейшем применено динамическое управление в разомкнутой петле, с использованием модели, которая дает априорную информацию о процессе.

Кроме этого вводится управление с обратной связью, роль которого состоит в компенсации отклонений вызванных неизмеряемыми возмущениями и неточностью модели.

Такая структура управления позволяет лучшим образом использовать имеющуюся информацию. К тому же она очень пригодна для статической оптимизации.

В работе рассмотрено внедрение такого управления и представлены количественные результаты. Эти результаты вполне удовлетворительны поскольку устойчивость полученных режимов соз-

дала возможность повысить максимальную производительность с 95% на 110% номинальной производительности.

Е.Г.Дудников, Г.П.Майков, П.С.Иванов  
/Москва/

### 23.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ ФЕНОЛО-ФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

Исследовался процесс поликонденсации новолачных феноло-формальдегидных смол, основанный на быстром выведении смолы из зоны реакции по мере ее образования. Реакция поликонденсации протекает в присутствии катализатора /соляная кислота/ в многосекционном реакторе непрерывного действия при атмосферном давлении и температуре кипения реакционной смеси /100<sup>0</sup>С/. Особенностью этого процесса является значительная экстракция фенола и формальдегида смолой. Были получены следующие уравнения:

$$\frac{A_{n-1}}{Z_n} = 1,14 \cdot A_n^{0,16} \cdot B_n^{0,8},$$

$$\frac{B_{n-1}}{Z_n} = 1,69 \cdot A_n^{0,4} \cdot B_n^{1,36},$$

где  $Z_n = \tau_n \cdot D_n$ ,  $A, B, D$  - соответственно концентрация фенола, формальдегида и катализатора;  $\tau$  - среднее время пребывания. Индекс  $n$  означает порядковый номер секции.

Важным параметром, характеризующим качество смолы, является вязкость. Зависимость вязкости смолы в  $n$ -й секции от основных параметров процесса была найдена в форме уравнения регрессии. На основе полученных уравнений с учетом ограничения на вязкость было найдено распределение подачи катализатора и среднего времени пребывания для трехсекционного реактора идеального смешения, минимизирующее при заданных начальных концентрациях фенола и формальдегида их концентрации на выходе из реактора. При этом решалась задача оптимального распределения  $Z_n$  методом динамического программирования. Среднее время пребывания и распределение подачи катализатора выбирались так, чтобы их произведение было равно  $Z_n$  оптимальному. Следует отметить, что для ряда химических процессов, где константа скорости химической реакции пропорциональна концентрации

катализатора / $K = k_o \cdot D_n$ /, необходимо оптимизировать распределение  $Z_n$ . Для этих процессов задача оптимального распределения среднего времени пребывания /объема при заданной производительности/ лишена смысла, т.к. чаще всего экономически более выгодно делать реакторы одинакового объема, добиваясь экстремума функции выгоды соответствующей подачей катализатора. Задача оптимального выбора числа секций была решена также методом динамического программирования, при этом учитывалась стоимость затрат на увеличение общего объема реактора.

Л.А.Гольд, Л.В.Ивенс, Х.Курихара

Массачусетский Технологический Институт

Кембридж, Массачусетс, США

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТНЫМ КАТАЛИТИЧЕСКИМ  
КРЕКИНГ-ПРОЦЕССОМ

Проведено исследование по применению теории оптимального управления в проекте системы управления нелинейными процессами с многими переменными.

Как типовой представитель таких химических процессов изображен гипотетический жидкостный каталитический крекинг - процесс который и был использован для испытания альтернативных подходов к этой проблеме.

Математические модели описывающие динамическое поведение процесса, развиты на базе тепловых и материальных балансов неустановившегося режима реактора и генератора. Эти модели используют полуэмпирические уравнения для представления кинематики реакции крекинга и сжигания угля.

Динамические модели были использованы для изображения процесса при помощи цифровой электронно-вычислительной машины. Моделирование предсказало большинство основных динамических характеристик собственных промышленным единицам.

Новый подход к проектированию системы управления сильно нелинейными химическими процессами с многими переменными на теории оптимального управления обратной связью, продемонстрированная на проекте системы управления гипотетическим жидкостным крекинг - процессом.

Согласно полученному закону управления обратной связью, температура генератора регулируется при помощи дозирования воздуха а уровень кислорода - дозированием катализатора. Эта схема управления совершенно разна от типичной схемы применяемой в практике рафинирования, где температура реактора регулируется дозированием катализатора, а уровень кислорода - дозированием воздуха.

Характеристика этой новой схемы управления была продемонстрирована путем динамического опробования и показалась значительно лучше для управления гипотетическим крекинг - процессом при нарушении режима.

ДУДА Мирослав  
ПЛЮЦИНСКА-КЛЯВЕ Малгожата  
РАКОВСКИ Януш  
ВАГЛЕВСКИ Станислав

Институт Энергетики,  
Варшава, Польша

### ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БЛОКА 200 МВТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АНАЛОГОВОЙ И ЦИФ- РОВОЙ МОДЕЛЕЙ

В статье описываются модельные исследования систем регулирования блока котел-турбина мощностью 200 Мвт, с барабанным котлом 650 т/ч, 138 ата, 540/540 град.ц., естественной циркуляцией, сжигающим каменный уголь.

Динамическая модель блока линеаризована для номинальной нагрузки с целью упрощения исследования динамики при небольших отклонениях от стационарного состояния.

Исследовались следующие схемы регулирования:

- а) давления пара - с сигналом только от давления пара перед турбиной и с добавочными сигналами производных расхода пара, открытия регулирующего клапана турбины и давления пара в барабане,
- б) температуры первичного пара - содержащие 4 регулирующих воздействия в виде впрысков, с различными добавочными сигналами: расхода пара, расхода топлива или открытия регулирующего клапана турбины,
- в) температуры вторичного пара - с регулирующим воздействием газовым шибером и впрыском.

Схемы регулирования давления пара и температуры первично-го пара исследовались на аналоговых машинах. Для исследования схем регулирования температуры вторичного пара применялось цифровое моделирование.

Г.Алтер - Социете СИИ /Аналак/78,Лювесен,Франция

Ж.Ф.Ле Корр - ЭНСМ 44 Нант, Франция

Р.Мезенцев - ЭНСМ 44 Нант, Франция

У.Тома - ЭНСМ 44 Нант, Франция

### Оптимальное управление котлом.

Работа посвящена оптимальному регулированию парового котла производительностью 1800 кг/час пара с давлением 22 бара и температурой 360 . Предполагается знание математической модели процесса и ограничений на управляющие величины.

Далее предполагается существование неизвестных априори помех с небольшой амплитудой, что создает необходимость управления с обратной связью, а также известных априори помех с большой амплитудой /например мощность, которую котел должен развивать, или характеристика увеличения давления, за которой нужно следить/.

Такого типа задача может быть рассмотрена с помощью теории Понтрягина, применение которой требует решения системы сопряженных разностных уравнений, с граничными условиями в двух точках. Это создает серьезные трудности. Оригинальность этой работы содержится в получении метода быстрого решения задачи и в его применении к управлению котлом.

В работе представлена точная модель процесса, приведен используемый критерий качества, а также подробно описано применение рассмотренного метода.

## Сравнение динамики котла с натуральной циркуляцией и котла с вынужденной циркуляцией.

К.Итох	x
М.Фукий	xx
Х.Охно	xx
К.Сагара	xx

Приложение внимания к вопросу перемещения нагрузки котла стало очень важно в регуляции силовой системы.

В связи с этим, этот доклад занимается вопросом динамики разных типов котлов. Один из них это котел с натуральной циркуляцией, другой с вынужденной циркуляцией - оба о характеристиках условиях работы в 75 МБ.

Оба котлы работают для регулировки силовой системы, которая имеет нагрузку электрической железной дороги на пригородах Токио и подвергается резким перемещениям нагрузки, в которых спектральное распределение энергии имеет большие количества 2 - 3 минутных периодических слагаемых.

Что больше, котлы перестают работать в полночь, так как после этого времени нет поездов. Проведено эксперименты для определения поправки для перемещения силы и для уточнения динамических модели обоих типов котлов.

В докладе специально взято во внимание вопрос циркуляционной системы для показания разницы между типами котлов. Реакция частоты целой системы получена редукцией переходной матрицы, соединяя переходные матрицы подсистемы. Экспериментальные результаты получено из предела частоты применения сложно - случайные сигналы и с степенной реакцией интеграла Фурье.

Вычисленные результаты схожие с экспериментальными, так что можно винуть следующее:

1. существование циркуляционного насоса в обоих типах котла не дает никакой разницы в динамике циркуляционной системы в отношении к уровню барабана и давлению,
2. разница в динамике и нужные поправки приведены в зависимости от веса и весом металла.

х Отделение раздела энергии г.Токио

Японские железные дороги, Токио, Япония.

xx Главное Техническое Управление,  
Митсубиши Тяжолая Промышленность, Токио, Япония.

H. Unbehauen

P. Necker

Университет Штуттгарт

Оптимальное управление температурой  
многосвязной системы управления  
"Однопроходного котла" при быстрых  
изменениях нагрузки

Новые тепловые электростанции в чём большой мере используются для регулирования частоты и отдачи в энергетической системе. При этом допустимая скорость изменения нагрузки свойствами регулирования температуры соответствует ограничению пароперегревателя. В предъявляемой работе поэтому исследована система регулирования температуры из точки зрения своей структуры и настройки параметров регулятора.

Взаимодействие регулирования температуры из остальными звенами регулирования парогенератора берется в зритель.

Динамические свойства систем регулирования температуры пароперегревателей парогенератора "Бенсон" 530 т/ч из масочно-газовой топкой создается как из конструктивных так из анализа большинства экспериментальных измерений.

Использованный метод моделирования систем регулирования температуры на аналоговом вычислительном устройстве определяется относительно малым количеством нужных звеньев вычислительного устройства из-за высокой точности симулации.

При помощи этой симулации исследована устойчивость и оптимирована связана система регулирования температуры.

Как результат преподаваны допустимые структуры системы регулирования и для оптимальной настройки параметров регулятора.

**АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИЗБЫТКА ВОЗДУХА В ТОПОЧНЫХ КАМЕРАХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ, ОТАПЛИВАЕМЫХ ТВЕРДЫМ ТОПЛИВОМ**

Казимеж ТАРАМИНА

Институт Автоматики Энергосистем, Вроцлав, Польша

В статье приведены два алгоритма оптимализации процесса сгорания. Один из них основан на согласовании результатов трех последовательных измерений состава сухих топочных газов, а другой - на согласовании трех измерений состава влажных топочных газов на выходе котла. Измерения эти осуществлялись с различными количествами избыточного воздуха в топке котла после стабилизации процесса сгорания.

ИСПЫТАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ КОТЕЛЬ-ТУРБИНА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ  
УПРАВЛЯЮЩЕЙ МАШИНЫ

Б. ГАНУШ

Машиностроительный и Текстильный Институт

Либерец, Чехословакия

Осуществилось испытание различных алгоритмов управления основанных на принципе минимума квадратической ошибки. Алгоритмы были расчитаны с помощью обобщенной программы на цифровой вычислительной машине. Все расчёты проводились только в области времени.

Испытания проводились частично в лаборатории, частично прямо на электростанции. В лаборатории были соединены аналоговая и цифровая вычислительная машина. Аналоговая машина использовалась при этом в качестве модели системы регулирования, цифровая вычислительная машина использовалась в качестве регулятора. На электростанции была цифровая управляющая машина ЛПП 21 включена в аналоговую электронную систему управления ЭРС.

Теодор Жирас  
Advisory Engineer  
Westinghouse Electric Corp.  
Hagan/Computer Systems Div.  
Pittsburgh, Pa. 15238

Роберт Юрам  
Senior Engineer  
Westinghouse Electric Corp.  
Hagan/Computer Systems Div.  
Pittsburgh, Pa. 15238

Применение техники цифрового управления  
в электростанциях

Для удовлетворения возрастающих управлений электростанций анализируется современная цифровая техника. Пересматриваются алгоритмы управления электростанцией, а также совершенствуется некоторой набор линейных и нелинейных процедур.

Приводятся разностные уравнения для каждого алгоритма, а также вычерчиваются переходные характеристики. Моделируется с помощью экспериментальной нелинейной модели типичный регулятор подачи питательной воды, а также обсуждаются получаемые переходные характеристики.

Делается вывод, что применение цифрового управления в электростанциях это мощное оружие служащее для повышения технических показателей электростанций.

Ф.Вестфрид - Компани Женераль д Отоматизм, Нозай /91/, Франция

Анализ нелинейностей в общем законе  
дорожного движения

В работе рассматривается модель общего закона дорожного движения, с учетом математических ожиданий скорости и концентрации автомашин, соответствующего постоянному потоку при предполагаемом расстоянии определенном из условий безопасности.

Этот закон может быть применен для изучения потока обобщенного вида Пуассона, а также показывает возможность образования ударных волн потока автомашин.

Полученные зависимости могут быть использованы также при интерпретировании и моделировании пространственно - временных графиков свободного движения или движения при автоматической координации световых сигналов.

Регулировка смежных светофоров, для минимизации задержек

инж. И.А Гилиер

Лаборатория исследования дорог, Министерство Транспорта, Крауторн, Соединенное Королевство

Два эксперимента, в Глазгоу и западном Лондоне, затрагивают вопрос управления светофорами при помощи центральной электронно-вычислительной машины с целью определения наиболее использования существующей сети дорог. Качество системы управления оценивается в выражении средней времени затрачиваемого автомашинами на проезд этой дороги.

В начальной фазе эксперимента были применены системы базирующие на употреблении сопряженных светофоров с постоянным циклом, и разработано два новых метода установки этих сигналов для минимизации задержек.

Комбинированный метод предполагает что в дорожной системе управляемой светофорами задержки на каждом отрезке дороги зависят только от наладки светофоров на каждом конце отрезка. Сначала получено графики показывающие задержки в движении на данном отрезке в зависимости от всех возможных наладок светофоров на его концах. Графики для паралельных и смежных отрезков были объединены в динамической модели, получая экстремальные наладки светофоров по каждому шагу пока вся сеть не была сведена до одного эквивалентного звена. Этот метод применим только к определенным видам дорожных сетей, но практически это не оказалось серьезным ограничением.

Испытание в натуральном масштабе было проведено в Глазгоу, где комбинированный метод был сравнен с существующей системой на соединенных и независимых, включаемых автомашинами, светофорах.

Л.Д.Атабегов,Х.Б.Кордонский,В.К.Линис,Ю.М.Парамонов,О.Р.Фролов

## АЛГОРИТМЫ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНА ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ САМОЛЕТОВ И ИХ ОПЕРАТИВНАЯ КОРРЕКТИРОВКА

Алгоритм автоматического управления авиационной транспортной сетью содержит блок прогноза спроса на авиационные пассажирские перевозки, блоки расчета графа транспортной сети и плана движения, блок обратной связи для корректировки плана при изменении спроса по отношению к прогнозу.

Прогноз спроса осуществляется на основе построения вероятностной математической модели, которая описывает функцию распределения спроса на авиационные перевозки в зависимости от характеристик транспортной ситуации для соответствующей пары городов. Эта ситуация определяется стоимостью билетов, временами перемещения и частотами движения всех видов транспорта.

В основу графа основных авиационных связей положена сложившаяся на протяжении ряда лет система авиалиний. В дальнейшем этот граф подвергается корректировке.

Под планом движения понимается распределение самолетного парка по авиалиниям с учетом особенностей базирования самолетов и с указанием числа рейсов, выполняемых по каждой линии. Расчет плана производится путем решения задачи нелинейного программирования, методом последовательных приближений.

В процессе составления плана производится автоматическая корректировка графа связей путем выявления участков с малой пассажирской загрузкой и назначением на переполненных участках дополнительных авиалиний.

Блок обратной связи обеспечивает быстрый пересчет плана при получении сведений об изменении спроса по отношению к прогнозу. Корректировка плана производится на малом участке графа. Объем графа, подлежащий корректировке, устанавливается на основе выявления связанных участков графа, т.е. участков, имеющих общий распределенный между ними пассажирский поток.

Алгоритмы управления программно реализованы на ЭВМ и используются при разработке и корректировке планов движения.

Применение метода оптимизации для разрешения проблемы  
перехода в вертолетах

---

Д.Ф.Хейнс, Бакалавр ест.наук по инж.делу,  
к-р философии

Фирма Уэстленд Кемпингер Атч., Новийл,  
Сомерсет, Англия

Проблему перехода определяют как изменение высоты, связанное с изменением скорости. Означает это обычно торможение со скорости горизонтального полета до падения во время потери высоты при регулируемой скорости, или же наоборот, ускорение при подъеме. В ходе такого перехода, вертолет меняет свои характеристики и тем самым любой закон управления не имеет наилучших характеристик по всей траектории полета. При переходе оптимальные законы могут быть определены для каждой скорости во время перехода и если допустим, что систему не делают приспособляемой /т.е. закон управления не подвергается непрерывным изменениям/, необходимо будет определить один закон, который обеспечит наилучшие характеристики в течение всего полета. Прелиминарно было исследование для обнаружения именно такого закона управления.

Ввиду того, что имеются два переменные управления, а именно: угол продольного отклонения плоскости управления и общий угол отклонения лопасти, которые применимы для регулирования двух выходных переменных - вертикальной скорости и продольной скорости, - можно установить для законов управления при каждой скорости, пользуясь изменением функции нагрузки. Для исходного облегчения изучения были выделены изменения управления, а затем определили оптимальные законы управления. Обладая такими результатами, легко можно было сделать смету требуемых функций нагрузки для показателя характеристики двух вводов - двух выходов. Установили теперь законы для определенной

скорости, а по получении удовлетворительной переходной реакции определяли и законы для других скоростей. Каждый закон применялся на каждой скорости и обсуждалась соответственность пользования каждого отдельного закона по всему диапазону скоростей. На основании этого возможным было обнаружение руководящего принципа для определения закона, который во всех случаях вероятно есть наиболее удовлетворительные характеристики. Все эти анализы предпринимались пользуясь линеаризированной моделью, следственно ограничивая точность результатов, но метод симплекса оказался очень пригодным в качестве предварительного исследования.

## ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ САМОЛЕТОВ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ЛЕТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Д. Букс, Г. Швейцер, Г. Сеельманн

ДОРНИР - Общество с огран. ответств.

Фридрихсхафен, Федеративная Республика Германии

В рамках исследовательских заданий проведены разработка и исследования по самолетам с изменяющейся устойчивостью. Самолеты с изменяющимися летными качествами обладают преимуществами, имеющими большое значение для современного развития, но до сих пор постройка таких самолетов не была осуществлена. В предлагаемом докладе обсуждаются возможности осуществления системы управления для самолетов такого рода. Основная проблема состоит в таком регулировании аэродинамических свойств учебного самолета, чтобы при выступающих режимах полета можно было получить все разновидности состояний моделируемого самолета. Задача регулирования представляется в виде многоконтурной системы, которая наиболее удобно осваивается с помощью пересчетного устройства. Объясняется разработка необходимых алгоритмов с помощью современных методов техники регулирования.

Опыты на опытном водолете с гибридной системой платов и автопилотом.

И.Охтсу<sup>1</sup> Т.Фужино<sup>2</sup> М.Итох<sup>3</sup>  
Х.Охно<sup>4</sup> и К.Учино<sup>5</sup>

Настоящий доклад занимается результатами опытов проведенных при пробах опытного водолета с гибридной системой платов и автопилотом. Доклад тоже показывает что анализ продольной динамики судна очень помогает в проектировании системы автопилота.

Каждое переднее крыло с левой и правой стороны опытного судна имеет вполне врашающееся крыло в своей низкой части а заднее крыло имеет элерон на выходящей кромке. Угол падения врашающегося крыла и угол элерона управляемы гидравлическим серво-механизмом.

Высота над линией воды и угол опрокидывания водолетного судна принимаются как управляемы изменимые а угол падения и угол элерона как оперируемые изменимые. Продольная динамика судна с гибридными крыльями может быть принята как управляема система с взаимной внутренней акцией, которое имеет два входа и два выхода. Синтез автопилотной системы с взаимной внутренней акцией в динамике судна изучен через применение диаграмм геометрического места корня системы.

С результатов морских опытов при нескольких родах автопилота видно что отклонение управляемых изменимых балансировки судна очень уменьшается когда сигнал темпа управляемой изменимой подается обратно, и что отклонения от установленных пунктов автопилота поникаются когда позиционный сигнал тоже подается обратно с сигналом темпа. Что больше, с результатов теперешних опытов видно что когда сигналы и темпа всех управляемых изменимых таких как высота, угол наклонения и угол крена одновременно поданы обратно, отклонения каждой управляемой изменимой судна с гибридной системой платов могут быть уменьшены до таких которые выступают в вполне погруженном судне.

---

Авторы 1-4 работают в "Митсубиши Тяжелая промышленность" Токио  
Автор 5 работает в Училище Морской Архитектуры г. Нагасаки  
Япония.

Гарри Катан Ягода, Доктор фил.  
Отделение "Операционс ресерч энд Систем  
Аналайзис  
Политехник Институт оф Бруклин  
Бруклин, Новый йорк 11201 США

ДИНАМИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНОГО  
ДВИЖЕНИЯ У ВЪЕЗДА НА АВТОСТРАДУ

Исследование представлено в этой статье содержит проект и анализ динамической системы регулирования автомобильного движения на городском скоростном автопути. Рассматриваемая проблема состоит в использовании автоматического светофора, который регулирует впуск автомашин так, чтобы минимизировать общее время задержки всех автомашин ожидающих въезда на автостраду, но с ограничением, что въезд автомашин не может привести к нарушении плавности движения на самой автостраде. Это исследование является частью "Проекта Контроля и Управления Движения Автострады Гулбф" разработанного университетом Техас А и М в Гоустон для Управления Общественных Дорог США и все опытные данные, заимствованы из этого проекта.

Два критерия приняты во внимание при рассматривании механизма "дозирования въезда": один предполагает что въезжающие машины прямо в бреши движения на автостраде, а второй выпускает машины в поток в промежутках времени определенных разницей между пропускной способностью автострады а мгновенной измеряемой плотностью движения. В обоих случаях применена стохастическая модель состояния для изучения динамического поведения системы регулирования.

Состояние системы определяется количеством машин, которые ожидают в очереди на въезд на автостраду.

ЛИНЕЙНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ИГРЫ С СОВЕРШЕННО  
ОПТИМАЛЬНЫМИ СТРАТЕГИЯМИ И ПРИНЦИП СЕПАРАЦИИ.

Пьер Фор

Представленный доклад касается линейных дифференциальных игр использующих квадратический критерий. Непосредственно показано существование оптимальной стратегии в случае, когда сопряженное уравнение Риккати допускает решение; кроме того показано что получаемые стратегии совершенно оптимальны в том смысле, что знание противоположной стратегии ведет к использованию такой же стратегии называемой полностью оптимальной стратегией.

Используемый прямой метод обобщен на стохастический случай, где используется формализм стохастических дифференциальных уравнений ИТО. Оказалось, что принцип сепарации оценки и управления становится обобщенным в случае стохастических игр.

СТОХАСТИЧЕСКОЕ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ С  
ЧАСТИЧНО ИЗВЕСТНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ.

Т.Дж.Тарн

Вашингтэн Юниверсити

Сант Луис, Миссурис, США.

Изучается стохастическое оптимальное управление линейной, дискретной скалярной системой. Представлен метод имеющий целью смягчение обычного предположения, что вероятностное распределение возмущений известно.

Мы считаем, что аддитивные белые гауссовские шумы  $\zeta$  известны, однако неизвестны их параметры. Основная идея заключается в рассмотрении неизвестных параметров как случайных переменных для которых даны априорные вероятностные плотности. Применяя байесовскую теорию фильтрации, решение задачи состоящей из повторяющихся уравнений для последовательных вычислений апостериорных вероятностей плотности этих случайных переменных, базируется на измерениях. Из этих апостериорных вероятностей плотности может быть составлена оценка.

При детерминированном управлении ожидаемая величина функционала квадратичной стоимости используется как критерий функции. Применяя динамическое программирование Беллмана для аппроксимации, мы получаем точное аналитическое решение закона управления обратной связи. Это решение служит стандартом для вычисленных приближенных решений.

Приближенный метод определенной оценки и управления для нелинейных динамических систем наблюдаемых в шумных условиях

Йошифуми Сунахара

Задачей этого доклада является определение приближенной техники для оценки и оптимального управления нелинейных динамических систем с определенным независимым шумом наблюдаемых в шумных условиях.

Руководясь основами определенными изменимыми представителями теории управления, описываем приближенные математические модели для динамических систем и процесса наблюдения через нелинейное векторное стохастическое дифференциальное управление типа Ито.

Описание можно в основном разделить на две части.

В первых, показан метод стохастических линий для определения приближенного подхода к решению фильтрационной проблемы в нелинейной стохастической системе предела Марковян. Хотя большинство обычных техник вводят серии нелинейных функций Таулора в этом докладе, автор вводит читателя в метод стохастических линий которые как это будет показано играют большую роль в разработке оценки и которых, надеемся будут помогать в решении проблем оптимального управления. Основном направлением отока является расширение нелинейных функций в некоторые линейные с коэффициентами которые определены критерием квадратной ошибки.

Линейные функции определенные коэффициентом зависят от оценки и соединения ошибок. Для этого, дается метод для одновременной обработки приближенной структуры фильтрационной динамики и оценивания связи ошибок через линейную процедуру.

Во-вторых, через употребление полученной фильтрационной динамики, представлен приближенный метод оптимального управления для квадратной функции Шета.

Окончательно, дано подробное рассуждение с цирковыми примерами, вместе с сравнениями с другими фильтрационными динамиками.

А.А.Клементьев, Е.П.Маслов, А.М.Петровский, А.И.Яшин  
/Москва/

### 3I.1. УПРАВЛЕНИЕ СТОХАСТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ РЕГУЛИРУЕМОЙ ДЛЯТЕЛЬНОСТИ ИНТЕРВАЛА КОНТРОЛЯ

Решается задача синтеза оптимального алгоритма контроля и управления дискретным случайным процессом при неполной информации. Определяются три типа потерь: на отклонение управляемого процесса  $\{Z_n\}$  от заданного режима  $\{\theta_n\}$ ; на управление процессом  $\{Z_n\}$ ; на контроль процесса  $\{Z_n\}$ . Пусть число тактов существования процесса  $\{Z_n\}$  конечно и равно  $N$ . В результате операций контроля и управления, а также несовпадения координат  $Y_n$  и  $\theta_n$ ,  $n=1,2,\dots,N$ , возникают суммарные случайные потери  $C_x$ . Математическое ожидание величины  $C_x$  минимизируется путём выбора числа и расположения моментов контроля и управления, а также путём выбора управления  $U_k$ ,  $k=1,2\dots$ . Задача решается методами динамического программирования.

СИНТЕЗ СТОХАСТИЧЕСКИХ КОНТРОЛЬНЫХ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО  
ВРЕМЕНИ

И.Г.Гамминг

факультет электротехники

университет в Торонто

Торонто, Канада

Аналитические результаты в теории стохастического контроля непрерывного времени обычно вырабатываются для систем с белым шумом, так как предположение Маркова обычно нуждается в деривации. Однако все случайные процессы, встречающиеся в практике, имеют дело с цветным шумом и эти процессы должны быть моделированы на основе процессов с белым шумом, для того, чтобы можно было применить результаты теории стохастического контроля.

Данное сообщение соотносит цветной шум непрерывного времени и процессы с белым шумом при помощи вектора состояния в тех случаях, когда верхняя частота цветного шума высока. Проблема представляет наибольший интерес в том случае, когда шум не является добавочным, и сообщение дает максимальное количество параметров цветного шума, которые необходимы для соотнесения двух процессов.

Используя это соотношение, сообщение показывает, как современная теория стохастического контроля может быть использована на практике. Дан пример линейной системы с произвольным коэффициентом. Показано, что в случае недостаточно полной характеристики цветного шума может дойти до создания проекта низкокачественной контролирующей системы.

ХАРАКТЕРИСТИКА СТОХАСТИЧЕСКИХ ИГР ТИПА  
ПОГОНЯ - МАНЕВРИРОВАНИЕ х).

Р.Д. Бэн, И.Ц. Хо  
Хэвард Юниверсити.

Рассмотрено несколько характеристик стохастических игр погоня-маневрирование. Результат игры как функции информационного множества исследуется с учетом, в особенности, значения стохастических стратегий как связи между стратегиями разом-кнутых и замкнутых цепей. Показано также, что стохастическая игра разъясняет кроме того асимметрический характер роли преследователя и ускользающего. Затем указано, что если два игрока обладают различными информационными множествами с не нулевой суммой, то игра должна иметь решение.

---

Работа перепечатанная здесь частично находится на дотации согласно контракту Джоинт Сервис Илектроникс № 00014-67-A-0298 и на субсидии НАСА-НГР- 22-007-068 администрации Хэвард Юниверсити.

х) Представлено на рассмотрение на Конгрессе ИФАК-а  
1969г.

НЕРАВЕНСТВА ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК СУБОПТИМАЛЬНЫХ  
НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ.

Х.С. Витсенхаузен.

Бэлл Телефон Лэбораториес, Инкорпорэйтид Марри  
Хилл, Нью-Джерси, США.

Выражение характеристики управляющей системы зависит как от селективности управляющего устройства, так и от изменяющихся величин, таких как входные возмущения. Каждому управляющему устройству соответствует функция изменяющихся величин, которой приписывается значение определяемое согласно, например, математическому ожиданию. В основном затруднительным является нахождение синтеза дающего это значение ее наименьшей величины  $J^*$ . Этот метод субоптиимального проектирования состоит в предположении, что изменяющиеся величины заданы в виде типовых величин и поиск оптимального синтеза производится согласно этой гипотезе. Когда таким образом синтез определен, в результате получаем значение  $J_0 \geq J^*$ . Риск вызываемый упрощенным методом синтеза может быть исследован с точки зрения неравенств  $J_0 \leq k J^*$ , где  $k$  настолько мало насколько это возможно для данных предположений о структуре задачи. Наилучшие значения найдены для класса проблем разомкнутых контуров с обычным типовым критерием. В зависимости от предположений эта величина равна:  $2/\sqrt{3}$ ,  $\sqrt{2}, 2$  или  $3$ . Получены также неравенства для проблем двуступенных систем с обратной связью.

## ТЕОРИЯ ДВУХРОТОРНОЙ ГИРООРБИТЫ

Доктор технических наук В.А.Бесекерский  
Доктор технических наук В.Г.Гордеев  
Кандидат технических наук Я.Г.Остромухов

Институт точной механики и оптики

Ленинград

СССР

В настоящее время известна теория однороторной гироорбиты, используемой на искусственных спутниках Земли для построения плоскости их орбиты. Согласно с датчиком местной вертикали инфракрасного или иного типа гироорбита дает возможность построения на борту спутника текущей орбитальной системы координат, которая может приниматься в качестве опорной или базовой системы координат при решении спутником различных задач.

Опубликована схема двухроторной гироорбиты, которая имеет ряд преимуществ в части достижимой точности, большей гироскопической памяти, маневренности и др.

В докладе на основании рассмотрения исходных дифференциальных уравнений двухроторной гироорбиты и состава помех, приводятся основные теоретические соотношения для процесса построения текущей орбитальной системы координат в режимах коррекции (режима нормальной ориентации) и гироскопической памяти. В качестве основных результатов такого анализа следует отметить показанную трансформацию спектра помех, определяемых собственными уходами гироскопов, а также более благоприятные по сравнению с однороторной гироорбитой условия работы в режиме гироскопической памяти.

Э.В.Гаушус  
/Москва/

## 12.1. ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассматривается динамика космического аппарата с импульсной системой управления ориентацией. Исследуются плоские колебания при действии постоянного возмущающего момента. Задача решается методом точечных преобразований и теории бифуркаций.

Показывается, что динамическая система имеет сколь угодно сложные периодические движения. Решается полная задача исследования динамики: находятся все возможные периодические движения, исследуется их устойчивость и зависимость от параметров, находятся бифуркационные кривые, определяется расход энергии, затрачиваемой системой управления. Показывается, что расход энергии квантуется, при фиксированных значениях параметров система может находиться на одном из двух возможных энергетических уровней, соответствующих предельным циклам соседних кратностей. Рассматриваемая динамическая система с многолистной фазовой плоскостью является, по-видимому, первым примером систем, имеющих сколь угодно сложные периодические движения и поддающихся полному аналитическому исследованию.

В.И.Попов, В.Ю.Рутковский  
/Москва/

### 12.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСПОКОЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННО-УСТОЙЧИВОГО СПУТНИКА С УЧЁТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ ДАТЧИКОВ И ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТАБИЛИЗАТОРА

В некоторых случаях гравитационно-устойчивый спутник после отделения необходимо быстро успокоить. Успокоение можно осуществить при помощи газореактивной системы предварительного успокоения /СПУ/.

Исследована динамика СПУ на фазовой плоскости с учётом ограничений датчиков. Рассмотрен вопрос использования ограничений датчиков при формировании нелинейных законов управления. Показано, что при определённом выборе коэффициентов в законе регулирования и времени запаздывания в системе можно получить значительную экономию рабочего тела.

Исследованы автоколебательные режимы в СПУ. Для уменьшения амплитуды автоколебаний в СПУ, имеющей релейную характеристику с гистерезисной петлей, предусмотрено введение внутренней обратной связи, компенсирующей запаздывание регулятора.

Чтобы получить гравитационно-устойчивый спутник, к нему присоединяется стабилизатор. После отделения спутника от ракеты-носителя стабилизатор необходимо раскрыть. Проводится выбор момента раскрытия стабилизатора.

Выведены уравнения плоских изгибных колебаний системы спутник-стабилизатор, проведено их исследование. При учёте только естественного демпфирования в штангах стабилизатора энергия за приемлемый интервал времени практически не рассеивается, при введении искусственного демпфирования в штангах колебания в системе очень быстро затухают.

На ЭЦВМ проведено исследование изгибных колебаний системы спутник-стабилизатор с учётом работы СПУ. Показано, что если СПУ имеет релейную характеристику с зоной нечувствительности, то изгибные колебания системы спутник-стабилизатор можно задемпфировать в течение приемлемого интервала времени.

ДВУХОСНОЕ ОРИЕНТИРОВАНИЕ В ПРОСТРАНСТВЕ  
ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ РАКЕТЫ-НОСИ-  
ТЕЛЯ СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ВРАЩЕНИЕМ

Г. Родерер, Г. Зеельмани, Г. Войчелла  
"ДОРНИР" - Общество с огр. отв.

Фридрихсхафен, Федеративная Республика Германии

Для проведения научных экспериментов в некоторых случаях необходимо, чтобы головная часть ракеты с полезным грузом была ориентирована с большой точностью на звезду или на солнце. Система стабилизации головных частей ракеты вращающихся вокруг одной оси является - с точки зрения приборной техники - очень простой, но определение параметров этой системы требует тщательных исследований.

Представляется проект квазиоптимальной дискретной системы стабилизации, разработанный исходя из расчета оптимизации процессов регулирования оптимальных во времени. При этом подробно рассматриваются вопросы нутационного и прецессионного регулирования. Указаны результаты многих исследований и проведено их сопоставление.

Представляются также технические возможности осуществления предлагаемых проектов. Рассмотрены при этом вопросы чувствительных элементов, обработка сигналов и систем управления.

Описывается возможности моделирования возможно большого числа реальных частей, что имеет особо важное значение при разработке проектов регулирования космических полетов.

Ю.П. Гуськов, С.В. Бунякин

С С С Р

УПРАВЛЕНИЕ МАНЕВРОМ ПОВОРОТА ПЛОСКОСТИ КРУГОВОЙ  
ОРБИТЫ СПУТНИКА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЕ ПРОХОЖДЕНИЕ СПУТ-  
НИКА ЧЕРЕЗ ЗАДАННУЮ ТОЧКУ

Используя известные решения уравнений движения материальной точки в центральном поле под действием силы, приложенной по бинормали к оскулирующей орбите, исследуется задача о формировании управления тягой газодинамического двигателя, обеспечивающего прохождение спутника над заданной точкой земной поверхности.

Отличительная особенность исследуемой задачи программирования траектории состоит в сопряжении движения точки на земной поверхности с движением спутника на активном и пассивном участках траектории маневра при минимуме действия двигателя.

Требования сохранения параметров исходной орбиты, а также заданных конечных условий при действии возмущений, связанных с боковым маневром спутника, приводят к необходимости построения системы автоматического управления с обратной связью. Одна из возможных схем такой системы рассматривается в докладе.

О СИНТЕЗЕ ГИРОСКОПА С УПРАВЛЯЕМЫМ МОМЕНТОМ ВНЕДРЕННОМ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ В ПРОСТРАНСТВЕ КОСМИЧЕСКОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.

Э.Лхордж Смис

Өдвайзэри Өндөржинир

Интернейшенел Бизнис Мэйн Корпорейшн Федэрэл  
Системс Дивижн.

В этой работе описан предварительный проект управляющего устройства для стабилизации и переориентации положения космического коробля в пространстве, осуществляемого с помощью группы гироскопов с управляемым моментом (ГУМ) с одной степенью свободы. Для случая движения в целом уравнения управления движением системы в значительной степени нелинейны, из-за ряда взаимодействующих эффектов. Предположение, что алгоритм управления может быть изображен позволяет эффективно использовать неустранимую нелинейность управляющего рулевого привода, (1) применяется классическое вариационное исчисление в результате чего получен управляющий закон изменения движения идеального управляющего устройства ГУМ, а (2) метод быстрышего сп. она используется для синтеза управляющего закона вращающего момента ГУМ, что приводит к реализации близкой идеальному движению ГУМ. Представлены некоторые результаты моделирования общей системы на вычислительной машине, согласно отклонениям математических алгоритмов моделирования.

О СИНТЕЗЕ СУБОПТИМАЛЬНЫХ, С ИНЕРЦИОННЫМ КОЛЕСОМ,  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ В ПРОСТРАНСТВЕ

В.Л.Джеррард

Департмент оф Эаронаутико энд Энджиниринг Миканикс  
Юниверсити оф Минисоуте, Миннеаполис, Минесота, США.

Л.Дж.Кларк

Департмент оф Энджиниринг Миканикс Юниверсити оф  
Тексас, Остин, Техас, США.

Представлены две методики синтеза субоптимальных систем, использующих управляемые двигателем инерционные колеса как источник вращающего момента, для трехмерного управления положением. Эти методики приближенно минимизируют интеграл квадратичной функции ошибки системы и регулирующего усилия и оба способа компенсируют нелинейную межосевую связь. Методики развитые в этой работе применяются для проектирования систем управления положением в пространстве типовых искусственных спутников. Законы результирующего управления являются формой обратной связи. На вычислительной модели показано, что системы проектируемые на основе указанных методик реагируют быстрее и более точно, чем системы проектируемые путем оптимизации на основе линеаризующей аппроксимации уравнений движения.

Е.А.Федосов, А.М.Батков, В.Ф.Левитин, В.А.Скрипкин  
/Москва/

## 50.1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ НАВЕДЕНИЯ

Предлагается единый подход к проектированию систем управления летательных аппаратов. Обсуждается постановка общей задачи наведения. Показывается, что общность задач телевладления, самонаведения, автономного наведения, наведения летательных аппаратов на подвижные и неподвижные цели с подвижных и неподвижных платформ определяется:

- а) единым критерием, определяющим качество работы системы наведения, например "пролётом" летательного аппарата относительно цели; б) единой неизменяемой частью системы, представляющей собой кинематическое уравнение связи параметров траекторий летательного аппарата и цели; в) спецификой органов управления и характеристик летательного аппарата, а также отсутствием полной информации об их изменениях; г) единым требованием уменьшения энергетических затрат летательного аппарата, необходимых для обеспечения задачи наведения.

Различия задач наведения в основном определяются источниками информации о цели и летательном аппарате и особенностями характеристик летательного аппарата.

На примере линейной системы наведения иллюстрируются общие черты и специфические особенности систем телевладления, самонаведения и автономного наведения. Рассматривается задача оптимизации системы наведения, анализируется специфика решений при различных источниках информации и учёте различного вида энергетических ограничений. Исследуется влияние противодействия цели на характеристики системы наведения.

Излагаются методы анализа системы наведения с учётом отсутствия полной информации о характеристиках летательного аппарата.

## УМЕСТЬНОСТЬ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ В УЧЕБНОЙ РЕГИСТРАЦИИ.

Пауль Алпер, ЮНЕСКО Проджект эт ди Институто  
Политехнико Насионал, Мехико Сити, Мексика.

Питер Эрмитэдж, Хайер Эдукејшн Рисерч  
Юнит, Ландон Скул оф Экономикс, Лондон, Англия.

Доклад касается важной проблемы планирования обучения, будущего распределения студентов и учителей, и применяемости понятий теории управления. Некоторые предварительные попытки применения понятий теории управления к учебной регистрации были кратко описаны; в этих попытках используются такие понятия теории управления как, пространство состояния, регулирующие или решающие переменные, принцип максимума Понтрягина, динамическое программирование и дуальные системы.

Затем внимание сосредоточено на формальном сходстве между промышленным процессом и процессом обучения. Показано тогда, что несмотря на формальное сходство существует еще много других вполне реальных проблем; управляющее устройство является лишь "советчиком", динамика процесса почти неизвестна и кроме того нестационарна, а составление функции объекта по единодушному согласию кажется быть задачей почти невыполнимой. В виду этих трудностей очевидно, что основа управления должна быть расширена путем некоторых глубоких и неизбежно дорогих исследований в самом процессе обучения.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН  
С МНОГОКРАТНЫМ ДОСТУПОМ ДЛЯ ЗАВЕДОВАНИЯ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРОЙ

И. Франсис Рэнтье

Massachusetts Institute of Technology  
Cambridge, Massachusetts, U.S.A.

Цифровые вычислительные машины с многократным доступом работая в режиме истинного масштаба времени, при котором работающий на машине "переговаривается" с ней, предоставляет новые возможности для эффективного заведования и доступа к информации содержащейся в профессиональной литературе. Активное участие представителей определенной профессии в развитии потребной стандартизации необходимо для эффективного внедрения системы с машинным хранением информации. Область автоматического управления особенно пригодна для использования такой информационной системы, так как связи между представителями этой профессии всех стран очень тесны.

В данной работе описывается Экспериментальная Система Выборки Информации. Её целью является развитие, путем аналитических и экспериментальных исследований, состава данных которые будут полезны для определения характеристики разрабатываемой конкретной системы информации. Главным свойством проекта описываемой системы является то, что она базируется на выгодах

истекающих из возможностей оператора в процессе "переговоривания" человек-машина. Эта система включает в себя литературную базу состоящую из каталога по крайней мере  $10^4$  документов, набора программ для передачи на хранение и поиска информации связанных с ведением каталога, а также программ обеспечивающих быстрый доступ к полному тексту закаталогизированных элементов. В работе приводятся полученные экспериментальные результаты.

Система управления вычислительной машиной для загрязнения воздуха.

Т.Такаматсу, И.Савараги,  
М.Найто, И.Акаги, И.Хашимото,  
И.Йкеда, К.Кавата и  
Т.Мизогучи.

В Японии, большой проблемой является вопрос загрязнения воздуха, специально в дистрикте Осака, где много промышленных городов, вопрос этот должен быть немедленно развязан. Потому власти Префектуры Осака ввели телеметрическую систему, которая в многих регистрационных станциях в дистрикте Осака скоро определяет состояния погоды и загрязнения воздуха. Но эта система не достаточна для противодействования загрязнению, и так как загрязнение исходит из многих источников надо их контролировать согласно с каким то планом.

Для этой цели надо развить метод для установления такого плана контроля. Будущая концентрация материальных загрязнения воздуха может быть предвидена математическим вычислением. А если можно это предвидеть, тогда можно вычислить величины будущей концентрации выше критической, и тогда можно отнять контролем источники загрязнения так чтобы будущие концентрации не были выше критической. В этом случае может быть надо будет ограничить социальную и экономическую деятельность дистрикта, а это можно все зделать применяя электронические вычислительные машины с многими теориями управления.

Этот доклад в главном говорит о постройке математической модели с феноменом перемещения загрязнительных материалов в воздухе и дает результаты вычислений при применении этой модели.

Для того чтобы вычислить темп горизонтального перемещения применяем модель постоянно распределенных параметров, а для каждого малого района вокруг регистрационной станции применяем ломко-великолепную модель смешивания. Концентрация верхних областей малого района вычисляется базируя на перемещении в горизонтальном направлении, одновременно вводя перемещение помежду великолепно мешающимся районом и его верхними областя-

ми.

А так как многие параметры из математической модели изменяются с временем, надо их заступать новыми по принципу системы управления с адаптационной способностью и сравнивая вычисленные данные сатурой.

ДИНАМИЧЕСКИ ОПТИМИЗИРОВАННАЯ ФИНАНСОВАЯ И  
ВАЛЮТНАЯ ПОЛИТИКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НАРОДНЫМ  
ХОЗЯЙСТВОМ.

А.Р.М.Ноутон.

Канада.

Этот доклад иллюстрирует применение методики разработанной в инженерной отрасли, к проблеме другой отрасли, а именно общественных наук. Хотя даже математики-экономисты и осведомлены в вариационных методах не кажется вовсе очевидным, чтобы современная теория управления применялась для внедрения динамически оптимизированного управления политикой в народном хозяйстве. Модель одиннадцати уравнений состояния заключала в себе несколько характерных признаков и использовалась поэтому в качестве иллюстрации, являясь не строгой на этом этапе попыткой проведенной с целью нахождения соответствия модели и эконометрических данных. Задача (для дискретного во времени управления) сформулирована подобно тем, которые решаются с помощью динамического программирования и интерактивных вычислений, при широком использовании метода сопряженных градиентов.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

Гальф Р. Дерн  
General Electric Company  
Schenectady, New York 12305  
U.S.A.

Процесс проектирования информационных систем привлекал в прошлом недостаточное внимание, так как сосредоточил в выборе устройств среди доступного оборудования. Решение любой проблемы состоит из ряда фаз связанных с разработкой проекта информационной системы и данная статья описывает процесс такого проектирования. Аналитик систем совместно с операционным и руководящим персоналом всех уровней могут в процессе проектирования извлечь большую пользу из опыта инженеров автоматического управления.

Есть большое сходство между управленческими функциями и многоконтурными системами управления. Более того, управленческие функции включают в себя некоторые аспекты управления, которые соответствующие могли бы реализоваться цепями логического управления и цепями обратной связи в реальных физических системах. Матричные действия и способ расчленения могут использоваться для разработки лучших информационных систем. Техника оптимизации может быть также полезна при выборе стратегии и планирования.

Так как возможности информационных систем уже открыты, то становится очевидным, что опыт в моделировании будет очень полезен в создании управленческого описания данной деловой деятельности в более отчетливой выраженной

количественной форме. Очевидно, что и другие виды действий могут быть найдены, в связи с чем долгосрочное планирование и методы принятия решения могут быть более научно исследованы.

НЕЛИНЯЙНЫЙ ФАЗОВЫЙ ИНДЕКС И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ  
К ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМ СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ СО МНОГИМИ  
ПЕРЕМЕННЫМИ

Эдвард Дэвисон

Нелинейный фазовый индекс определен для нестационарной системы с несколькими переменными нелинейного времени. Он, затем, используется для обозначения степени трудности стабилизации систем, когда каждая из двух или более управляющих систем контролирует по одной переменной величине системы одновременно. Индекс прост в использовании и будет удобен при прогнозировании в случае взаимодействия в больших контрольных системах с многими переменными величинами, как это бывает в регулировании процессов. Для примера приведены цифровые данные дистillationной колонны с регуляцией давления и температуры.

о алгебраическом, многомерном  
критерии демпфирования  
развитие критерия Наслима

Д.Жаршанд	и	М.Менаком
Советэ ИСА отомасьон		Сесь тэ контролль бле
8, ул. Белини		32, Бульвар Генрихе IV
Париж /16 <sup>9</sup> /		Париж
Франция		Франция

Первая часть этой работы содержит развитие стандартных полиномов /представляющих дифференциальные операторы/, которые часто используются в контрольных устройствах с одной переменной. Стандартные полиномиальные матрицы представлены и обоснованы. Вторая часть работы касается одной из основных проблем в практическом использовании контрольного синтеза с несколькими переменными. Когда применяются классические PID - регуляторы, то нельзя найти метода, который бы подбирал регулятор к регулируемому процессу с целью улучшения динамики всей системы управления. Предлагается практический метод, который может разрешить эту проблему. Метод основан на применении скалярного критерия демпфинга Наслима к многомерным явлениям. Однако, необходимо еще изучить некоторые аспекты этого применения для того, чтобы доказать пригодность обобщенного критерия.

А.Г.Й.Макфарлен, Н.Мунро  
Центр Систем Управления  
Институт Технологических Наук  
Манчестерский Университет  
Манчестер, Англия

Употребление обобщенных кругов Мора  
в переменных регуляторах.

Здесь описывается метод на проектирование многократно-петляных, переменных, линейных и пропорциональных регуляторов. Этот метод зависит от употребления обобщенных кругов Мора.

Отто Мор ввел конструкцию кругов Мора во-первых в 1822 году, чтобы указать эффекты вращения оси координат на тензоры растяжения и сжатия. Главная цель этого доклада указать как подобные конструкции могут быть использованы в проектировании переменных систем управления обратной связи.

Применяется обычная  $r$ -плоскость, так чтобы создать связь между этим методом и обусловленной теорией систем управления.

Даются два простых примера. Один из них, пример на регуляцию уровня жидкостей в трифазных смешивающих сосудах представляет собой применение группы управительных процессов.

Метод преобразования координат для целей анализа и синтеза многомерных систем управления с помощью цифровой вычислительной машины.

Я. Джюрки

Научный Институт Автоматики  
Бенгерской Академии Наук,  
Будапешт, Венгрия.

В методах анализа и синтеза систем управления предлагается что исследованная система представлена в удобном математическом виде. Но математическая модель системы, которая была конструирована с помощью чисто математических операции исходя из основных законов физики, или с помощью измерений и методов идентификации, принимает - вообще говоря - вид отличный от желаемого. Структурная схема системы является формой очень полезной и широко распространенной на практике. В статье описан, основан на структурной схеме системы, общий метод порождения формы удобной для целей анализа и синтеза.

В первой части описан метод порождения уравнений состояния.

Вторая часть посвящена методу преобразования матрицы системы в кинематически подобную матрицу, имеющую канонический вид. Таким образом достигается упрощение исходной структурной схемы относительно первоначальных входных сигналов и переменных выхода.

Таким образом является доступной информация содержимая в уравнениях состояния и в простых передаточных членах, каждый из которых находится между одной парой сигналов - входного и выходного. По этому возможно непосредственное применение методов анализа и синтеза основанных на матрицы уравнений состояния или на передаточных функциях связанных с соответствующими парами входных и выходных сигналов.

Целый описанный метод, вместе с некоторыми классическими методами анализа были использованы для построения программы для цифровой вычислительной машины.

МЕТОД ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПРИ ВЕСОВЫХ ФУНКЦИЯХ

Н.А. Баркер и А. Хепбуран

Университет Глазго

Глазго, Шотландия.

Эта работа описывает методы прямого цифрового управления с несколькими переменными, они употребляются в случаях когда линеаризация приближается к фактическому функционированию системы. Эти динамические процессы должны быть постоянно проверяемыми, для определения модели системы в форме весовых рядов, с применением псевдослучайных двоичных сигналов. Этот корреляционный метод обеспечивает почти полное устранение ошибок возникших при случайных корреляциях. Полученная модель весовых рядов применяется в регуляторах прямой связи и обратной связи, которые функционируют независимо, для устранения из системы, контролируемой рекуррентным методом, отмеченных и неотмеченных возмущений. При сейм приводятся полученные результаты такой системы.

В.А.Боднер, К.Б.Алексеев, Р.А.Закиров  
/Москва/

## 24.1. К СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С УЧЁТОМ ЗАДАННОЙ НАДЁЖНОСТИ

Для класса систем автоматического управления, обладающих ограниченными энергетическими ресурсами, критерием оптимальности является минимум энергетических затрат на управление при допустимом времени регулирования и других показателях качества управления. Обеспечение заданной надёжности производится на заключительной стадии проектирования системы применительно к конкретной схеме. Такая процедура синтеза современных систем управления объясняется отсутствием обобщённого критерия оптимальности, включающего в себя показатели качества и надёжность системы.

В докладе делается попытка сформулировать для указанного класса систем способ их синтеза, учитывающий требования к заданной надёжности на начальной стадии проектирования. Согласно данному способу реализации оптимальной системы производится из условия её максимальной структурной надёжности. Мерой последней является степень изменения структуры управляющей части системы при осуществлении оптимальных законов управления.

Обеспечение схемной надёжности системы, показателем которой является вероятность её безотказной работы, производится одновременно с минимизацией функционала качества.

Основные положения способа иллюстрируются на примерах объектов управления с различной динамической структурой как в части реализации оптимальной системы с максимальной структурной надёжностью, так и в части достижения заданной вероятности её надёжной работы.

Оптимальное управление класса дискретных систем.

Оле А.Сольгейм и Фредди Погнер

Отделение Автоматического Управления

Норвежский Технический Университет, Трондгейм

Настоящая статья занимается оптимальным управлением процессов в которых регулируемые величины могут изменяться только в дискретных промежутках времени. Такой вид вопросов можно встретить например в системах управляемых электронно-вычислительными машинами.

Действенным методом решения таких вопросов управления является правило "максимальных промежутков". Приводится элементарное доказательство этого правила.

Рассмотрены некоторые вычислительные вопросы, связанные с проблемой управления, причём особое внимание уделено линейному процессу.

Наконец приведено несколько примеров для продемонстрирования применённого метода и для пояснения влияния частоты отбора импульса на поведение системы.

# Оптимальное управление нелинейными импульсными системами

Иоханнес Моик

Институт Прикладной Математики

Высшее Техническое Учебное Заведение г. Грац, Австрия

В работе описывается определение оптимального управления для нелинейных импульсных систем с ограничением для переменных величин состояния. Показывается также, что этот вопрос оптимального управления может быть сформулирован как задача математического программирования. Линеаризацией нелинейных уравнений и с помощью альтернативных законов для систем с линейным равенством и неравенством получаются необходимые условия для оптимального решения. Для линейных систем с выпуклой конечной функцией эти условия необходимы и достаточны. Далее показывается, что полученные результаты представляют собой дискретный принцип максимума, учитывающий также и ограничения для переменных состояния.

Константин КУРМАН /Польша/

### ЦЕПНЫЕ МОДЕЛИ

## КАК БЕЗИНЕРЦИОННЫЕ ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ОБЪЕКТОВ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

Статья посвящена новому, перспективному методу оптимизации - методу цепных моделей. При известных методах расходы на оптимизацию увеличиваются по размерности задачи с квадратом, или быстрее, при описанном методе - увеличиваются линейно. Суть метода - сведение динамической проблемы к статической и использование вариационных принципов физики при моделировании. Для задачи статической оптимизации строится электрическую "энергетическую модель" функции Лагранжа, опираясь на модифицированной аналогии Денисса: узловые потенциалы представляют десициональные переменные и множители Лагранжа, потребление мощности - значение функций Лагранжа. По модифицированному принципу Максвелла минимума мощности - уравнения 1 закона Кирхгофа представляют "реляции оптимальности"; модели принадлежит свойство "самосоптимизации", которое не нарушается при подлежащем введении ограничений и других нелинейностей задачи. Сложность модели - пропорциональна размерности задачи. Модель - теоретически безинерционная, практики реализирует градиентный метод Здроу-Гурвича /время решения - порядка долей секунды/; существование решения гарантирует возможность постройки устойчивой модели. Задача оптимального управления сводится к задаче статической оптимизации и строится энергетическую модель со специфической, цепной структурой. Цепная модель может быть использована как безинерционный в принципе, оптимальный регулятор для широкого класса задач.

Б.Н.Петров, В.В.Петров, Г.М.Уланов, В.М.Агеев,  
А.В.Запорожец, А.С.Усков /Москва/,  
И.Д.Кочубиевский /Владивосток/

## 19.1. НАЧАЛО ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Разделяя сложную систему на иерархические уровни организации, возможно подходить к процессам управления с позиций теории информации и статистической физики.

Для этого на каждом уровне изучаются информационные характеристики процессов управления общего вида. В основу вывода информационных характеристик кладутся введенные авторами пороги различимости состояний объекта управления на рассматриваемом уровне его организации.

Информационные характеристики позволяют оценить возможные режимы работ систем управления, в том числе динамику детерминированных и нестационарных процессов.

Обобщается задача энтропийно-статистической устойчивости и определяются необходимые условия, специфические для систем управления. Показана аналогия и связь статистической устойчивости с классической задачей устойчивости по Ляпунову.

Информационные условия представляют собой необходимые требования осуществимости управления данным объектом с заданным качеством. Ставится задача о предельных возможностях системы управления, оптимальных в информационном отношении.

Потенциальные возможные пределы систем управления связываются с пропускной способностью элемента и системы управления. Показана специфика понятия пропускной способности, связанная с особенностями системы управления. Даются основные уравнения для определения пропускной способности.

В работе исследуются информационные условия основных режимов управления и регулирования и в том числе стабилизации состояний объекта управления, воспроизведения требуемых состояний и информационные условия инвариантности /абсолютной и с точностью до  $\varepsilon$ /. Получены общие уравнения баланса энтропий, соответствующие основным режимам управления. Найдены общие аналогии между проблемами в статистической физике и информационными процессами при управлении. Приводятся примеры расчёта систем управления предлагаемыми методами.

## МЕТОДЫ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ПРЕДСКАЗАНИЯ И СГЛАЖИВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

И.Э. Гандшин (Швейцария)

Центр вычислений и автоматики, Имперский колледж  
науки и технологии Лондонского университета  
Лондон, Великобритания

В докладе представлено использование методов Монте -  
Карло для численного решения нелинейных проблем пред-  
сказывания и сглаживания. Составлены математические  
модели нелинейных, дискретных динамических систем и  
собраны данные для создания возможности оценки наи-  
более существенных параметров плотностей распределе-  
ния вероятностей, которые описывают состояние системы.  
Проведено дальнейшее развитие дисперсионно-редукцион-  
ных методов для улучшения коэффициента полезного дей-  
ствия процесса выборки. Представлены развитие метода  
антитетических случайных величин и новый двухступен-  
чатель метод с отсчетными случайными величинами для  
нелинейных проблем предсказывания. Для решения проб-  
лемы сглаживания применяется метод Байса. Соединение  
аналитических приближений нелинейных сглаживающих  
уравнений со статистическими методами ведет к созда-  
нию нового метода с отсчетными случайными величинами  
для оценки условных средних значений. При помощи про-  
стых, но исчерпывающих примеров показаны возможности  
использования различных методов выборки.

## ВВЕДЕНИЕ В МЕТОДИКУ СТОХАСТИЧЕСКИХ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И В ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Большая перспектива предстоит методам стохастических вычислений, которые используют исчисление вероятностей в качестве аналоговых величин. До сих пор появились лишь немногие отчеты по проведенным работам в этой области, однако можно считать, что смежные свойства аналоговых и цифровых методов вычислений создают интересные возможности применения стохастических методов для управления процессами.

Представляется концепция произвольного, связанныго развертки времени, импульсного кодирования переменных, затем обсуждается анализ точности. Поскольку вероятность непосредственно неизмерима, необходимо применить статистические методы для того, чтобы путем образования средних значений определить значения цепи импульсов. Сопоставлены динамические свойства различных методов образования средних значений и выявлена зависимость между цепной линией импульсов, хронирующей частотой и полосовым фильтром.

Для составления стохастических рядов с заданной вероятностью цепей импульсов применяется случайная

выборка из цифровых или аналоговых шумовых процессов, функция плотности вероятности которых является прямоугольной. Рассмотрен также метод, по которому из произвольных или псевдопроизвольных бинарных цепей импульсов получены шумовые процессы такого рода.

Для увеличения динамической области переменных, авторы предлагают провести обобщенное стохастическое кодирование с помощью математического ожидания и путем логарифмически выраженных вероятностей.

Полученное таким образом произвольное стохастическое кодирование с плавающей запятой ведет к весьма существенным последствиям.

В связи с тем, в конструированные до сих пор приборы были введены изменения учитывающие требования многоканального стохастического кодирования. По особому методу определены источники помех.

В.В.Солодовников, В.Л.Ленский  
/Москва/

### 19.3. КОРРЕКТНОСТЬ, РЕГУЛЯРИЗАЦИЯ И ПРИНЦИП МИНИМАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ В СТАТИСТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Решение задач оптимизации в статистической динамике систем управления приводит к системе интегральных уравнений, некорректных в смысле А.Н.Тихонова. Поэтому решение этих задач при помощи ЦВМ может быть связано с большими ошибками и оптимальные системы являются нереализуемыми.

Некорректным в том же смысле является также известное интегральное уравнение, лежащее в основе статистических методов идентификации.

Для получения устойчивых алгоритмов решения задач статистической динамики целесообразно применение методов регуляризации некорректных задач, разработанных А.Н.Тихоновым.

В докладе показано, что при соответствующем выборе регуляризуемого функционала такого рода, подход к решению задач синтеза позволяет получить не только корректные алгоритмы, но и системы минимальной сложности.

Формулируются понятие и принципы минимальной и ограниченной сложности.

Применение принципов сложности иллюстрируется на ряде примеров и, в частности, на примере синтеза нелинейного дискретного фильтра с конечной памятью.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТОМ  
ПРИ ЧАСТИЧНО НЕИЗВЕСТНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ.

В.Г.Кеклер, Р.Ф.Лерсан.

Стэнфорд Ресерч Инститьют Менлоу Парк, Калифорния,  
США.

Оптимизация систем в которых имеются стохастические явления обширно изучалась путем многочисленных исследований. Крайне важная формулировка этих проблем была названа Меером задачей комбинированного оптимального управления и оценки; решение этой задачи было произведено при использовании динамического программирования. На эту тему было написано несколько теоретических работ, среди них имеется очень мало примеров для любого случая и рассматривается в основном только линейная гауссовская задача.

Эта работа впервые описывает применение динамического программирования для решения проблемы оптимального управления автоматом, снабженным датчиками, то есть работающих в неизвестной окружающей среде. Представлена методика для формулирования класса проблем стохастического управления в которых находятся информативные переменные, которые уточняют степень знания о физическом состоянии системы, также как и о физических переменных встречающихся в большинстве применений управления. Эти проблемы представлены в нескольких областях; оговоренный здесь пример автомата относится к основной проблеме неполного предварительного исследования противодействующей, недоступной окружающей среды; однако другая формулировка этого типа развита для проблем надежности. Описаны также подробные расчеты требующиеся для внедрения

этой аппроксимации. Показано, что динамическое программирование осуществимо для уравнений управляющей системы, выполняемого критерия, и ограничений которые одновременно включают в себя физические переменные и информативные переменные. Показана также связь концепций теории систем, таких как дуальное управление и величина информации, с комбинированным оптимальным управлением и задачей оценки.

В проблеме автомата сложность вычислений возрастает экспоненциально с числом физических и информационных переменных состояния. Таким образом много интересующих нас проблем слишком громоздко для точного решения на вычислительных устройствах имеющихся в наличии в данный момент. Для того, чтобы решить эту проблему был изобретен эвристический метод основанный на оптимизирующем алгоритме. Таким образом стало возможным в этой работе анализировать на конкретном примере связь между эвристическими методами и оптимизирующими приближениями. Результаты эвристических методов сравниваются также с действиями человека в некоторых характерных случаях.

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДВИЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В БОЛЬШИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Юльюш Лех Куликовски

Институт Автоматики  
Польской Академии Наук  
Варшава, ПОЛЬША

Излагаются некоторые взгляды автора касающиеся статистического подхода к теории информационных систем. Последние рассматриваются как подсистемы больших систем управления. Организацию информационных систем рассматривается как объединение их пространственной структуры, функциональной структуры и правил оперативного действия. Предлагается мера ценности информации (формула /I/) базирующаяся на понятии линейного полу-упорядоченного пространства и являющаяся обобщением меры предложенной А.А. Харкевичем. Рассмотрены основные свойства марковских процессов подходящих для анализа явления происходящих в информационных системах и выводится основное уравнение описывающее статистические свойства соответствующих процессов (формула /I4/). Обращается внимание на возможность получения приближенного решения указанного уравнения; выводится необходимое условие вероятностной устойчивости информационной системы, в виде формулы (I7a).

В.М.Глушков, Б.Н.Деркач  
Г.Т.Макаров

## ОБ ОДНОЙ СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОСХЕМ

Изложены основные особенности различных технологических приемов создания схем с точки зрения удобства автоматизации процессов. Показано, что одной из наиболее перспективных является элионная технология. С помощью электронных и ионных пучков изготавливались переходы, производилась микросварка соединение компонент микросхем, сплавление, полимеризация, разложение легколетучих соединений с целью локального восстановления химических элементов, герметизация, экспозиция фоторезистивных слоев, напыление пленок, скрашивание, создавались высокоточные трафареты, измерялись и контролировались параметры технологических процессов и изделий, определялся химический состав, - выполнялось множество важнейших операций, необходимых при формировании микросхем.

Префинансированы условия протекания элионных процессов, обеспечивающие высокую воспроизводимость параметров схем, большую плотность компоновки элементов, сравнительное упрощение задачи управления их производством и др. Элионика представляет собой один из примеров такой новой области техники, которая была бы немыслима без использования кибернетических средств управления.

Описаны трудности, возникающие при решении проблемы создания замкнутой управляющей системы, способной осуществлять полностью автоматизированное изготовление микросхем. Приведены примеры задач, которые необходимо решить с целью преодоления этих трудностей. Обоснованы требования к разомкнутой системе управления электронно-лучевым установками для обработки материалов.

Дана характеристика разработанной в Институте кибернетики АН УССР цифровой управляющей машины, предназначенной для управления элионными процессами изготовления микросхем, в том числе ее алгоритмических, структурных, конструктивных и других особенностей. Приведены примеры обработки некоторых программ.

## Микро-диаграмная позиционная система.

И.Ошита и Б.С.Янг

Институт промышленных наук.

Токио Университет, Токио

Япония.

Микро-диаграмная позиционная система необходима для автоматического сбора транзисторов и интегрированных цепей. Этот доклад занимается микро-диаграмной позиционной системой развитой для применения при автоматическим соединению проволокой транзисторных единиц.

В этой системе разбор диаграмм получен при помощи специальных фотоэлектрических микроскопов с оптической системой с прорезами типа  $\backslash$ , фотомножителями и цепями дифференциального усилителя.

Когда вводим диаграмм с размерами в несколько сот микронов в направление X или Y, фотоэлектрический микроскоп дает выходной импульс в нужный момент исхода из оптического шаблона.

Стол, на котором умещаем транзисторные единицы движется в направлении X или Y при помощи микрометрических винтов, скоро подающих механизмов и шаговых двигателей. Цепи управления из счетчиков и логических цепей, контролируют очередность операции и точность умещения элемента.

В первых, для умещения элемента он скоро подается в направлении Y. Дальше, переключается на медленное движение при помощи шагового двигателя, в направлении оптического знака.

Исходящий импульс фотоэлектрического микроскопа в направлении Y позволяет счетчику начать считать двигательные импульсы шагового мотора. Движение в направлении Y задерживается в точке определенной счетчиком. Теперь начинается медленное движение в направлении X. Исходящий импульс фотоэлектрического микроскопа в направлении X задерживает стол.

Проведены испытания относительно умещения транзисторов, их типов, установки прорезов и вращающего перемещения транзисторов. Испытания доказали точность умещения с точностью  $\pm 5$ и.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ

Г. Бюлер

Выпрямители показывают типическое неустойчивое поведение. Поэтому выпрямитель можно рассматривать как импульсную систему. В докладе представляется каким образом поведение выпрямителя при малых изменениях угла зажигания можно свести к нормальной импульсной системе с импульсами Dirac. Можно также учесть влияние коммутации. Блок-схема выпрямителя с изменением угла зажигания в качестве входной величины и изменение силы тока как выходной величины представляют структуру импульсной системы с обратной связью. Следовательно, для определения поведения в переходном режиме можно применить дискретное преобразование Лапласа.

В заключении представлено исследование цепи регулирования тока. В этом случае блок-схему также можно свести к импульсной системе с обратной связью и, следовательно, можно применять все известные методы исследования импульсных систем, в частности, методы исследования устойчивости. Во многих случаях желательно вместо дискретной переходной функции замкнутой цепи регулирования тока оперировать с обычной переходной функцией. Для этого можно применить преобразование  $D^{-1}$ .

Показано также, каким образом можно с удовлетворительной точностью представить приближением  $e^q = (2 + q)/(2 - q)$  обыкновенную переходную функцию в качестве рациональной функции.

В заключение, кратко приведены результаты полученные при исследовании цепи регулирования тока электродвигателя постоянного тока питаемого через выпрямитель.

Е.К.Круг, Е.А.Легович  
(Москва)

### 39.3. БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ЧАСТОТНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Быстродействующие системы управления, входными сигналами которых являются сигналы с частотных датчиков, имеют ряд особенностей: время измерения принципиально имеет конечное значение, которое может быть соизмеримо с другими временными характеристиками системы; частотный сигнал позволяет использовать аналоговые и цифровые методы измерения и преобразования; устройства, построенные на аналого-вой технике, имеют ограниченную точность, связанную со статическими и динамическими погрешностями; наличие квантования по времени и по уровню при использовании цифровых методов построения приводит также к ограничению точности цифровых устройств управления и регулирования.

Приведены результаты анализа точности воспроизведения корректирующих воздействий различных типов в зависимости от методов построения систем управления. Даны рекомендации по принципу построения систем для различных алгоритмов управления и характеристик частотного сигнала. Эти рекомендации основаны на оценке возможной точности осуществления заданного алгоритма управления (с учетом получения необходимого быстродействия) и сложности аппаратурной реализации систем.

ОПТИМАЛЬНОЕ КАЛИБРОВАНИЕ ИНЕРЦИОННЫХ  
СОСТАВЛЯЮЩИХ.

Д.Т. Шмидт х)

Инструментейшен Лэборатэри, Мэссоучусэйтс Институэт  
оf Технолоджи, Кэмбридж Мэсс.

Показано, что калибрование составляющих инерционных устройств, систем и тестов выравнивания летательных аппаратов доступно для современных статистических методов фильтрации, при условии существования адекватной модели процесса, и может быть обосновано совместно с некоторыми методами решения больших расчетных проблем. Дается основной вид любой калибрационной системы использующей статистическую фильтрацию вместе с методикой для упрощенных расчетных задач.

Обработан пример применения гирокопических проверочных таблиц данных, а результаты просчитаны с помощью анализа рядов Фурье. В другом проекте применения, инструментальном, дан опытный тест для уникального калибровочного фильтра используемого для выравнивания и калибрования инерционной платформы Наводящей Навигационной и Управляющей Системы "Аполлон" в то время когда она находится в ракете-носителе, которая подвергается колебаниям от воздушной струи.

Апрель 1968

---

х) Принципал Инженер, Аполло Гайденс Нейвигейшен Инд Контрол.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ЦВЕТОМ В БУМАЖНОЙ МАШИНЕ.

Г.Чаоу, В.Викстром.

Консолидейтид Пэйперс, Инк. Висконсин Рэпидс,  
Висконсин.

Этот доклад оговаривает теоритические и практические аспекты непосредственного управления цветом, которое успешно используется в бумажной машине в Консолидейтид Пэйперс, Инк. Даны расчетные схемы для управляющих устройств. Представлены также результаты моделирования и действующего процесса.

Й.К.Ли  
И.Б.Санборн  
Х.Л.Гарисон

Х.Хао  
Й.Г.Боллингер

## Проект системы автоматического управления напорным ящиком бумагоделательной машины

Рассмотрен синтез многопетлевой системы автоматического управления напорным ящиком бумагоделательной машины.

На базе рассмотрения установившегося состояния избран алгоритм управления целой системы.

Передаточные функции регуляторов и пр. подобраны на основе ряда переходных режимов при помощи специально модифицированного метода "контура корней".

Запроектированные параметры регуляторов подверглись проверке в натуре.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ  
ЗАВОДА ПЕРЕРАБОТКИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ.

Р.М.Дж.Виссерс, Р.Дж.Бесс.

Бритиш Шугэр Корпорейшн Лтд., Питерборо.

М.Ф.Бранч, Кембридж Университет, Кембридж. Англия.

Доклад описывает введение практической математической модели, являющейся основой для предсказывания наилучших эксплуатационных состояний с целью достижения максимальной прибыли на заводе переработки сахарной свеклы. Усовершенствование модели ведется от ее начала, в виде чисто теоретических уравнений, к ее настоящей форме в виде вычислительной программы операций, которые точно отображают процесс и которые являются непрерывной информацией использующей внутренние и внешние данные о заводе.

Имеется упоминание об использовании как схемной части, так и средств программирования для сбора, передачи и обработки данных.

Отмечается использование нелинейных методов для оптимизации моделей, с целью получения максимальной прибыли, с особой ссылкой на ограничения, которые должны быть наложены различным образом для учета практических заводских ограничений.

Представлены, в виде об'единенной вычислительной управляемой системы, окончательные результаты сбора информации, а также обрабатывающих и оптимизирующих программы.

Владислав СИНДЕЙСЕН, Ежи ПУЛАЧЕВСКИЙ, Анджей МАНИТЮС

/Польша/

МНОГОУРАВНЕВАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И ДИНАМИЧЕСКАЯ КООРДИНАЦИЯ  
ПРОЦЕССОМ ПРОТЕКАНИЯ МАСС В ОТДЕЛАХ СЫРОЙ МАССЫ САХАР-  
НЫХ ЗАВОДОВ

Непостоянство качества сахарной свеклы, неточности дозировки потока энергии и вспомогательных материалов, непрерывные изменения интенсивности потока массы - это основные факторы, обуславливающие потери при производстве сахара. Чтобы эти потери свести к минимуму, была запроектирована многоуровневая система управления процессами в отделах сырой массы сахарного завода.

Самый низкий уровень образуют обычные стабилизирующие регуляторы, заданные значения которых определяются местными статическими оптимизаторами. Сложность технологических процессов требует применения системы статической оптимизации высшего порядка, минимизирующей стоимость производства во всей линии путем воздействия на отдельные местные оптимизаторы.

Сведения о заданной на данный день величине переработки сахарной свеклы передаются статическому оптимизатору высшего порядка системой динамической оптимизации производства. Если по каким-либо причинам процесс переработки сахарной свеклы окажется временно нарушенным /например прерван на несколько десятков минут/, то в этом случае управление процессом в линии принимает на себя система координации потока масс, минимизирующая потери, вызванные аварией, которая по устранению аварии способствует восстановлению параметров процесса /заполнение и поток массы/ в линии до требуемых значений. По выполнении задания система координации потока масс отключается, и управление технологической линией снова производится системами статической оптимизации.

В работе более подробно объясняется принцип действия всей многоуровневой системы управления.

Применение управления вычислительной машиной в цементной вращающейся печке через анализирование данных.

Тсунэо Отому и Тоичиро Накагава

Чичибу Цемент, Токио, Япония.

Хиротугу Акаике

Институт Статистической Математики, Токио, Япония.

Для того чтобы применить управление вычислительной машиной к цементной вращающейся печке, надо сначала изобрести программу, которая будет удерживать печь в постоянных условиях движения. Нормально печи очень шумны и имеют свои собственные законы поведения.

Потому, мы должны надеяться что нам удастся их удержать в таком состоянии где они будут вести себя порядочно, а не винять их работу по расписанию.

Для того чтобы это достигнуть нам нужно знакомство с подробностями характеристики печи и надо проанализировать данные движения печи. Была проведена спектральная анализа данных, и результаты внушают на который диапазон частоты надо обратить внимание.

Поперечно-спектральный метод оказался недостаточен для этой цели, и так изобретено программа исправления на качественной модели поведения печи. Программа оказалась достаточной.

Позже был введен общий модель для анализа системы обратной связи, и применен к анализе данных нашей печи. Это дало описание соотношения разных мер и характеристики шума врпечи, и стало ясно почему программа работала хорошо.

Этот доклад описывает все опыты подробно.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ ПИРITA.

Т.Талонен, Сутокуми Ои, Ноккола, А.Низами,

Университет оо Уулу, Оулу, Финляндия.

В результате извлечения серы из мелкозернистого пирита, методом внешней плавки, получаем сложную газовую атмосферу. Процесс управляется в настоящее время с помощью комбинации стандартных моделирующих устройств. Математическая модель процесса плавки основана на термодинамическом равновесии газовой фазы, которая описана системой алгебраических уравнений. После безуспешных попыток использования методов Ньютона-Рафсона и быстрейшего спуска, задача была решена с помощью метода Розенброка. Позже модель была дополнена отражением теплового баланса и связи между составом вещества и газа. Для управления процессом потребовалось вычислительное устройство работающее в режиме "внутри линии" и использующее эту модель для максимальной добчи чистого продукта.

М.В.Мееров, Р.Т.Янушевский  
/Москва/

### 30.1. СИНТЕЗ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

При решении задачи синтеза многосвязных систем управления выбор её рациональной структуры приобретает первостепенное значение. В многочисленных работах установлено, что автономность не является в общем случае требуемым свойством для многосвязных систем и стремление к достижению автономности зачастую не обосновано. В настоящей работе выбор структуры линейной многосвязной системы производится из решения задачи минимизации интегрального квадратичного функционала качества от разности задающих и регулируемых величин и управляющих воздействий на уравнениях многосвязного объекта /при заданной его весовой или передаточной матричной функции/ при произвольных начальных условиях с учётом действующих на объект возмущений. Рассматриваемая задача непосредственно связана с задачами оптимальной фильтрации, аналитического конструирования и т.д., но отличается от них более общей постановкой: одновременно учитываются произвольные начальные условия координат объекта, подлежащие воспроизведению воздействия и приложенные к объекту возмущения. Как задача синтеза данная задача состоит в построении системы, максимально противодействующей приложенным к объекту возмущениям /рассмотрены случаи, когда возмущения поддаются измерению и когда они не могут быть непосредственно измерены/, с эффективностью, зависящей от коэффициентов подынтегрального выражения функционала качества. Задача решается в комплексной области; рассмотрена структура оптимальной системы. Приводятся выражения для передаточных матричных функций синтезируемой системы, исследуется влияние коэффициентов функционала качества на свойства системы. Устанавливается связь синтезируемых линейных многосвязных систем со структурами, устойчивыми при неограниченном увеличении коэффициентов усиления. Для многосвязных объектов с внутригрупповой симметрией предложен метод декомпозиции, позволяющий заменить исходную задачу решением ряда более простых оптимальных задач.

ПОНИЖЕНИЕ СЛОЖНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ, НЕИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВО  
ВРЕМЕНИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ.

Д.Митра

Контрол Системс Центр, Ю.М.И.С.Т., Манчестер,  
Великобритания.

Дана линейная неизменяющаяся во времени динамическая система  $X$  с  $n$  переменными состояния, и задачей является синтез подобной системы  $X_Y$  с  $(n-m)$  переменными состояния, которой линейные выходы, являются в определенном смысле, хорошей аппроксимацией выходов системы  $X$ .

Рассмотрены два основных случая входных сигналов-(I) весовые импульсы и (II) белый гауссовский шум. Функционалами передаваемой ошибки являются для (I)  $E = \int e^t Q' e dt$ , а для (II)  $M(E)$ , математическое ожидание от  $E$ . Вектор ошибки  $e$  является разностью между выходами  $X$  и  $X_Y$ ;  $Q'$  является позитивной определенной матрицей. Среди других переменных для (I) рассмотрен также функционал ошибки  $E = \int \tilde{P}(t)e^t Q e dt$ , где  $\tilde{P}(t)$  является любой преобразуемой по Лапласу функцией.

Матрица определителя Грама  $W(T)$  является основой для анализа. Показано, что определенные алгебраические дифференциальные уравнения могут быть решены в виде  $W(T)$ .

Показано, что процессы редукции содержат в основном два этапа:  
Управляемая Приближенная неуправляемая точная Упрощенная  
система  $X$   $\xrightarrow{\text{редукция}}$  система  $\hat{X}$   $\xrightarrow{\text{редукция}}$  система  $X_Y$

Процесс точной редукции включает в себя хорошо известную идею

декомпозиции пространства состояний.

Управляемое подпространство  $\mathbf{X}$  является  $(n-m)$  мерным. Вектор ошибки в приближенном процессе редукции состоит из "следящих" и "проекционных" компонент. Только проекции вдоль подпространства не зависящие от динамической матрицы системы заключают в себе ошибку слежения тождественно равную нулю. Разработан метод для получения оптимальных проекций вдоль инвариантных подпространств.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ В НЕПРЕРЫВНОЙ МНОГОМЕРНОЙ СИСТЕМЕ.

Дж.А.Плэнчерд, В.Дж.Лоу.

Многочисленные эмпирические методы для проектирования параметров управляющих устройств были развиты в последнее время и получили признание благодаря широко распространенному использованию. Однако когда эти методы, которые были развиты для одноконтурных систем управления, применялись по отношению к спаренным многосвязным системам, часто получаемые результаты не удовлетворяли систему.

За последние десять лет в большой степени была развита теория многосвязного управления. Многое в этой теории касается особых аспектов многосвязного управления, а именно автономного управления. Несмотря на большой объем доступных теоретических работ, их практическому применению в области управления процессом былоделено лишь небольшое внимание.

Предметом этой работы являлось физическое выполнение автономного управления многосвязной системой, математическая модель которой включает в себя нелинейности, временное запаздывание и уравнения выше первого порядка. Такая система состоит из трех возбуждаемых резервуаров включенных последовательно, к которым подаются два потока с различной фиксированной температурой. Интересующими нас выходными переменными являлись температура и выходная скорость потока третьего резервуара.

Методы автономного проектирования применяемые к этому

частному устройству были затем использованы для получения численных систем управления. Поскольку большинство этих методов основано для случая линейных, время независимых объектов без временной задержки, то стало первой необходимостью забросить модель этой установки в такой форме. Моделирование с помощью цифрового вычислительного устройства системы управления сделало возможным получить предварительные вычисления этих систем. Получено влияние нелинейных уравнений и временного запаздывания на характеристики автономного управляющего устройства, а также влияние особенностей определенных параметров на синтез каждого управляющего устройства. С целью сравнения была также синтезирована обычная двухконтурная система управления с обратной связью.

Три показательные системы управления были затем физически выполнены, при использовании аналогового вычислительного устройства Электроникс Эсскоушийтид ТР-48, для управления в реальном масштабе времени.

Это исследование показало, что может быть получено приемлемо хорошее автономное управление несмотря на нелинейность процесса, чистое временное запаздывание и неточное описание модели. Те методы, которые физически помещают устройство управления в той части контура управления, которая предшествует установке, определенно превзошли методы в которых управляющее устройство помещено в контуре обратной связи. Окончательно, все изучаемые системы автономного управления на много превзошли обычные двухконтурные системы с обратной связью.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ КОНЦЕПЦИИ ПРОСТЫХ  
РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ СХЕМ И РАЗВЯЗЫВАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО ДВУХПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
И ПРАВИЛА НАСТРОЙКИ

В. Кремер  
Акц. Общество БРОУН БОВЕРИ и комп.  
Баден, Швейцария

В докладе показано, что в большинстве систем двухпозиционного регулирования с частичным устранением связи, т.е. только с одним дополнительным поперечным соединением в регулировочном устройстве можно достигнуть лучшие результаты по сравнению с системами с полным устранением связи, т.е. с двумя перекрестными поперечными соединениями в регулировочном устройстве. Представлены основные правила разработки конструктивных данных соотносительно просто осуществляемого частичного и не вполне точного устранения связи, так чтобы этим также при малых затратах обеспечить существенное улучшение работы системы по сравнению с системой без устранения связи. Показано, что с помощью только одного развязывающего элемента, соответственно выбранного из предложенных трех основных типов, можно получить очень хорошие результаты. Кроме того, приведены практические правила настройки по оптимизации таких развязывающих элементов в данной установке.

О ОПТИМАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИСКРЕТНЫХ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

С МНОГИМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

Е.Бионди - Л.Дивизти - Ц.Роведа - Р.Шмид<sup>x/</sup>

Это сообщение касается проблемы оптимального использования дискретных линейных компенсаторов с многими переменными. Объективная функция, которая должна быть доведена до минимума, является линейным сочетанием количества необходимых задерживающих элементов с квадратом средней величины всех ошибок в результатах компенсатора. Таким образом, будет гарантирована экономия и аккуратность. Проблема оптимизации анализируется в границах теории диаграмм, при учете параллельной системы синтеза и при использовании четырех основных структур. Эта проблема, таким образом, соответствует определению оптимального разветвления в данной нециклической диаграмме. Данная оптимизационная проблема, в конечном счете, решена при помощи Динамического Программирования.

---

<sup>x/</sup>Авторы работают в Институте электротехники и электроники  
Миланского политехнического института.

Синтез чувствительности оптимального управления во время перемены порядка системы.

И. Савараги

К. Иноуз

Т. Охки

Инженерный Факультет, Киото Университет, Киото, Япония.

Этот доклад занимается практическим введением в теперешнюю теорию оптимального управления, а то для выполнения перерыва между теорией и практикой.

Вводится идея чувствительности  $\lambda$  в синтез оптимального управления во время когда управляемая система подвергается переменом порядка системы.

Сначала идея развертывается сложную систему  $\lambda$ , которая содержит модель физической системы и уравнения чувствительности  $\lambda$ .

Во вторых, обсуждаем возможность регулировки сложной системы  $\lambda$ . Возможность компенсации ненужных эффектов, которых получаются с перемены порядка системы зависит от возможности регулировки сложной системы  $\lambda$ .

Окончательно получаем новый метод синтеза чувствительности оптимального управления, в минимальной проблеме энергии с окончательным принуждением с точки зрения утверждения больше твердым в перемене порядка системы.

Здесь дан иллюстрационный пример для показания всех хороших сторон метода синтеза чувствительности в сравнении с обычным методом.

Анджей ВЕЖЕЦКИ /Польша/

## УНИФИЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В докладе представлен унифицированный подход к анализу чувствительности оптимальных систем управления, дающий возможность эффективного сравнения различных структур, данных систем. Идеальный коэффициент чувствительности оптимальной задачи управления, введенный Дорато и используемый в ряде работ, не зависит от структуры оптимальной системы управления. Поэтому было введено новое понятие меры чувствительности, как понятия локальной нечувствительности или полной чувствительности оптимальной системы управления данной структуры /система открытия, замкнутая и др/.

В докладе описаны также локальные коэффициенты чувствительности и связанные с их определением вариационные методы основанные на второй вариации функционала качества. Представлены глобальные показатели чувствительности. Кратко представлена методика численских расчетов, необходимых для определения меры чувствительности в общем случае. Доклад иллюстрируется результатами анализа чувствительности, полученными для целого ряда примеров .

А.А.Красовский  
Москва, СССР

Новые методы аналитического конструирования  
систем управления

Излагаются методы синтеза оптимальных управлений линейных и нелинейных объектов при наличии ограничений как на управляющие воздействия, так и на некоторые функции фазовых координат /имеющие смысл сигналов на входах исполнительных устройств в оптимальной системе/.

Если дан линейный объект  $\dot{x}_i + \sum_{k=1}^n a_{ik}(t)x_k = u_i$ ,

то оптимальными управлениями, минимизирующими функционал

$$I = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{k=1}^n \beta_{ik} x_i x_k dt + \sum_{k=1}^n \gamma_{ik}(t_2) x_i(t_2) x_k(t_2),$$

где  $\sum_{k=1}^n \beta_{ik}(t) x_i x_k$  - заданная неотрицательная квадратичная форма

$\gamma_{ik}(t)$  - коэффициенты, являющиеся частным решением системы неоднородных линейных уравнений

$$\gamma_{ik} = \sum_{p=1}^n (\gamma_{ip} a_{pk} + \gamma_{kp} a_{pi}) - \beta_{ik} \quad (i, k = 1, 2, \dots, n) \quad /1/$$

в классе управлений, подчиненных условиям

$$\int_{t_1}^{t_2} |u_i|^p dt \leq c_i, \quad \int_{t_1}^{t_2} \left| \sum_{k=1}^n \gamma_{ik} x_k \right|^q dt \leq d_i, \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1, \quad p \geq 1,$$

являются управления вида

$$u_i = -K_i \left( \sum_{k=1}^n \gamma_{ik} x_k \right)^{p-1}, \quad \text{sign } u_i = -\text{sign} \sum_{k=1}^n \gamma_{ik} x_k.$$

Разработана специальная методика решения уравнений оптимальных коэффициентов /1/ аналитическим путем на аналоговых и цифровых вычислительных машинах. Эта методика основана на вычислении интегральных квадратичных оценок весовых функций объекта с "замороженными" коэффициентами и последующем применении метода итераций для нестационарных объектов или функционалов.

Если дан нелинейный объект

$$\dot{x}_i + F_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = U_i$$

и существует функция Ляпунова  $V(x_1, \dots, x_n)$ , производная которой  $\dot{V}$  в силу уравнений неуправляемого объекта  $/U_i=0/$  равна функции  $-W(x_1, \dots, x_n)$ , то в классе управлений, подчиненных ограничениям

$$\int_{t_1}^{t_2} |U_i|^p dt = C_i, \quad \int_{t_1}^{t_2} \left| \frac{\partial V}{\partial x_i} \right|^q dt = D_i, \quad \frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1, \quad p > 1,$$

оптимальными в смысле минимума функционала

$$I = \int_{t_1}^{t_2} W(x_1, \dots, x_n) dt + V[x_1(t_2), \dots, x_n(t_2)]$$

являются управления вида

$$U_i = \pm K_i \left( \frac{\partial V}{\partial x_i} \right)^{q-1}, \quad \text{Sign } U_i = -\text{Sign } \frac{\partial V}{\partial x_i}$$

Для пассивных, в частности консервативных, объектов в качестве функций можно использовать первый интеграл уравнений неуправляемого объекта – интеграл энергии или функцию от этого интеграла.

Приводятся примеры практического применения разработанных методов. Получаемые оптимальные линейные управления допускают неограниченное увеличение коэффициентов усиления каналов без потери устойчивости, а оптимальные релейные управление обеспечивают инвариантность по отношению к ограниченным по модулю возмущающим воздействиям, приложенным к объекту.

ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ И  
СТРУКТУРЫ В ЗАДАЧЕ ЛЕТОВА И КАЛМАНА ПО ОПТИМАЛЬНОМУ  
СИНТЕЗУ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

К.Веля

В первой части работы предлагается алгоритм оптимального синтеза по быстродействию для линейных объектов с переменными и постоянными параметрами. Для этого пространство состояний, рассматриваемое как пространство начальных положений объекта, разбивается на многообразия по числу переключений. Для определения моментов переключения, соответствующих этим многообразиям, составляются трансцендентные уравнения, решение которых должны удовлетворять определенные условия. После проверки данных условий составляется закон управления в виде нелинейной характеристики, настраиваясь на заданное начальное состояние при помощи элементов, вырабатываемых отдельным вычислительным устройством. Алгоритм выработки элементов нелинейного синтеза представлен в виде логической схемы, а нелинейная характеристика представлена в аналитическом виде для объектов с постоянными параметрами, используя известные свойства сопряженных систем уравнений.

Во второй части дается нелинейный синтез оптимальной системы по интегральнем выпуклым критериям, на основе тех же свойств сопряженных систем, что и в первой части. При этом рассматривается вопрос об эквивалентности разных форм описания оптимальной системы и, в частности, оптимального управления. Показана связь между сопряженными системами дифференциальных уравнений и матричным дифференциальным уравнением Риккати, а также возможность выражения его решения в виде функций решения сопряженных уравнений.

МЕТОД ЕДИНИЧНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ ДЛЯ ПОЧТИ ОПТИМАЛЬНОГО СИНТЕЗА НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА.

П.Саннути, П.Кокотович х)

Департамент оф Илектримал Өңдженниинг энд Коодинейтид  
Сайенс Лаборатори Йиверсити оф Иллинойс, Идана,  
Иллинойс, США

Этот доклад распространяет метод единичного возмущения, предложенный в более ранней работе этими же авторами. Для класса нелинейных систем даны достаточные условия при которых оптимальное управление непрерывно и дифференцируемо с учетом возмущений, которые изменяют порядок системы ("единичные возмущения"). Затем методика близка к оптимальному решению для систем низкого порядка развита на системы высокого порядка. Степень  $2(n+m)$  краевой задачи сводится к  $2n$ , в то время как характеристика достигает близкую оптимальной. Имеется также пример решения близкого оптимальному для нелинейных объектов 5-го порядка.

---

х/П.Кокотович с разрешения Пьюбин Рисерч Институт, Белград,  
Югославия.

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПО ВРЕМЕНИ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ДЛЯ СИСТЕМ ВТОРОГО ПОРЯДКА С ПЕРИОДИЧЕСКИМ  
УСИЛИЕМ ВОЗВРАТА

Г. Шмидт и Ф. Фимер-Уриг

Высшее техническое учебное заведение  
Дармштадт, Федеративная Республика Германии

Доклад рассматривает оптимальные по времени законы регулирования относящиеся к системе  $\ddot{\varphi} + f(\dot{\varphi}) + \sin \varphi_e = u$ ,  $|u| \leq K$ . Значительно расширены известные частичные исследования, которые допускают три различных случая демпфирования и все возможные ограничения регулируемого параметра. Целевым пунктом оптимального по времени движения пусть будет устойчивое положение равновесия ( $\varphi(T) = \pm 2\pi n$ ,  $\dot{\varphi}(T) = 0$ ).

Для решения этой задачи привлекается Понтрягина принцип максимума. Однако, нет общей возможности аналитически решить эту задачу. Поэтому приходится вернуться к методу обратного интегрирования в канонической системе. Дополнительное построение изохронного поля ведет, наконец, к однозначному закону регулирования характеризующегося кривыми коммутации и индифферентности в плоскости состояния. Результаты четко показывают существенные преимущества оптимизации точных нелинейных систем вместо их линеаризации.

МЕТОД АППРОКСИМАЦИИ В ПРОБЛЕМЕ ЕДИНИЧНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ.

Жеральд Кук

Фрэнк Дж. Сейлер Рисерч Лейборатори Ю.С. Фар  
Форс Академи Колорадо, США.

Представлен метод который позволяет решить особую проблему управления путем аппроксимации необычных систем в нормальные. Показано, что аппроксимация может быть произведена сколь угодно точно. Затем определено оптимальное управление аппроксимированной системой с приложением по отношению к существующей системе. Получены ограничения по ошибке при краевых условиях и степень субоптимальности осуществляемой этим методом. Метод справедлив для задач минимума времени и минимума запаса топлива для линейных постоянных объектов. Приведены примеры.

Г.Н. Саридис Г.Стэйн

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ПАРАМЕТР - АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Регулирование линейных стохастических систем с неизвестными параметрами сводится к определению одной аппроксимации решения функционального управления динамического программирования. Управляющие сигналы заданы линейными функциями разовых координат объекта управления, и коэффициенты усиления явно заданы параметрами схемы идентификации.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С  
МОДЕЛЬЮ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ЛЯПУНОВА И  
МЕТОДА ОБРАТНОЙ ОПИСЫВАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ.

Х.Феикема, Х.Б.Вербрюгген

Технолоджикал Инверсити, Департмент оф Илектрикэл  
Энджиниринг, Контрол Энджиниринг Лэборэтэри, Делфт,  
Нидерланды. (Голландия).

В данной работе рассмотрены два метода проектирования адаптивных систем управления с моделью:

- 1) второй метод Ляпунова.
- 2) метод обратной описывающей функции.

Проектирование заключается в реализации нелинейного адаптивного управляющего устройства таким образом, чтобы ответ системы уравнений желаемых характеристик на определенный сигнал (т.е. реакция модели), независел от изменений параметра в системе.

Использование этих двух методов гарантирует устойчивость адаптивной системы. Посредством метода Ляпунова сделано адаптивное управляющее устройство, которое обычно значительно сложнее, чем управляющее устройство сделанное при использовании метода обратных описывающих функций, однако в некоторых случаях оно может быть упрощено. В обоих случаях результатом является управляющее устройство которого фаза и коэффициент усиления регулируемы независимо друг от друга. Эти два управляющих устройства были проверены и произведены расчеты каждого из них для нескольких адаптивных систем с моделью.

НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ И МЕТОД НАИМЕНЬШИХ  
КВАДРАТОВ-РASПРОСТРАНЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ  
ТЕОРИИ КВАЗИЛИНЕАРИЗАЦИИ.

В.С.Ливайди

Информейшен Рисерч Ассошайтес, Инк. Волтэм,  
Массачусетс, США.

Квазилинеаризующее приближение для нелинейных наименьших квадратов Беллмана и др. распространяется на системы содержащие регистрируемые возмущения и на случай выполнения показателя нелинейности и не квадратичности. При некоторых условиях получена ненулевая оценка в отношении возмущений. Интегральные ограничения могут быть помещены в возмущении. Формулировка содержит в себе наименьшие квадраты дополнений статистической оценки задачи для "цветных" шумов и системы с "случайно" переменными параметрами.

Проблема адаптивного управления сформулирована в виде двух задач оптимизации. Они решены совместно при использовании последовательной процедуры метода квазилинеаризации. Метод обобщен и может включать наиболее априорные знания о параметрах переменных и возмущений действующих в системе. Это не является противоположностью взаимодействия между оценкой параметра и процедурой корректировки параметра. Для простого примера представлены результаты.

## НАСТРОЙКА АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Ф. Шнейдер

Высшее техническое учебное заведение  
Мюнхен, Федеративная Республика Германии

В процессах, в которых один или несколько параметров зависят от определенных исходных или других величин характеризующих состояние данного процесса, часто можно существенно улучшить регулирование процессом путем адаптивного управления показателями регулирования. Для этого необходимо знать закон регулирования определяющий соотношение между измеряемыми величинами состояния процесса или исходными величинами с одной стороны и критериями оптимального регулирования - с другой стороны. Этот закон регулирования определяется с помощью цифровой вычислительной машины. При этом воздействие на данную установку ограничивается к минимуму.

Приведены два метода отождествления, причем ни один из них не требует информации о структуре объекта регулирования. Этими методами для каждого рабочего места определяется модель объекта регулирования, с помощью которой проводится оптимизация показателей регулирования по интегральному квадратичному критерию качества переходного процесса.

В системах без запаздывания это осуществляется с помощью многомерного метода Ньютона. В системах с запаздыванием это осуществляется нумерическим методом оптимизации. Отождествление и оптимизация повторяются для достаточного числа состояний процесса, а полученные значения путем приспособления кривых преображаются в аналоговые соотношения. Следовательно, после пусковой фазы, установка работает как с нормальным адаптивным управлением показателями регулирования.

Метод пригоден для непрерывных и дискретных систем с запаздыванием или без запаздывания.

# СИСТЕМА ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЭКСТРАПОЛЯЦИЕЙ

Г.Г. Жакоб, Ц. Мира

Лаборатория автоматики и ее применения для космических исследований Национального центра научных исследований (CNRS)  
Тулуз, Франция

Система экстремального регулирования, описанная в настоящем сообщении, требует - в сравнении с классическими системами регулирования - большего количества "априорной информации" (форма нелинейной статической характеристики, по которой можно установить, что она не подверглась слишком большой деформации под влиянием помех; сведения относительно динамического поведения регулируемой установки). Эта система сохраняет устойчивость при наличии быстрого дрейфа статической характеристики ( $\mathcal{C}$ ).

Применены два вида экстраполяции:

- Линейная экстраполяция дрейфа характеристики ( $\mathcal{C}$ ), измеряемой в постоянном интервале времени.
- Параболическая экстраполяция, использующая две известные точки параболы ( $P$ ), параметр которой определяется априорной информацией по характеристике ( $\mathcal{C}$ ). Этот параметр подбирается таким образом, чтобы максимальное приближение параболы ( $P$ ) к характеристике ( $\mathcal{C}$ ) наступило в середине.

Экстремальное значение характеристики ( $\psi$ ) достигается в предлагаемой системе регулирования в одном или нескольких этапах оптимизации. Процесс оптимизации состоит из четырех шагов.

- "Измерительный шаг" с постоянной продолжительностью измеряет дрейф рабочего пункта. Этот дрейф линейно экстраполируется в процессе оптимизации.

- "Поисковый шаг" с переменной продолжительностью для определения двух точек характеристики ( $\psi$ ), через которые проходит парабола ( $P$ ).

- "Регулируемый шаг" с переменной продолжительностью является результатом вычисления, которое дает положение экстремального значения параболы ( $P$ ).

- "Холостой шаг" с постоянной продолжительностью, предусмотрен для того, чтобы переходное состояние привести к окончанию.

Проведен анализ основных принципов экстремальных регуляторов. Рассматривается вопрос устойчивости с учетом отклонений, которые возникают вследствие выбора параметра параболы ( $P$ ), определения динамического поведения регулируемой установки и на основании дрейфа характеристики ( $\psi$ ).

О.Л.Р. Джекобс и С.М. Ленгрон

ОПТИМАЛЬНАЯ ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Устанавливается закон оптимального управления для упрощенной, дискретной во времени, экстремальной, с одним входом системы управления, в которой эффекты шума измерений и динамических запаздываний пренебрежимы. Этот закон не может быть легко расширен на более общие случаи экстремального управления. Получаемый закон оптимального управления дает указание о общей структуре законов оптимального экстремального управления, а также дает оценку наилучших показателей, которые могут быть достигнуты для данной исследуемой проблемы.

А.Г.Ивахненко, Н.В.Хрущёва, В.И.Несходовский  
/Киев/

#### 45.1. САМООРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В докладе дано определение понятия "самоорганизация" и показано, что трудности учёта многомерности /"проклятие многомерности"/ не встречаются в самоорганизующихся системах, где действуют унифицированные "элементарные алгоритмы" и "интегральные воздействия". Приведены примеры стохастического объекта экстремального управления и практические способы получения обобщённых возмущающих и регулирующих воздействий. Определены понятия "состояние" и "ситуация" управляющей системы, подлежащие распознаванию. Распознающая система используется для управления стохастическим объектом по комбинированному принципу: она служит в качестве корректора для быстродействующей разомкнутой цепи управления. Самоорганизация принимает форму самопроизвольного перемещения прототипов /полюсов/ распознающей системы в пространстве координат объекта управления. Вначале показан один из возможных алгоритмов самоорганизации трёх полюсов. Далее, при переходе к рассмотрению множества полюсов формулируется теорема об устойчивости адаптивных процессов самоорганизации "полюсного газа". Моделирование процессов самоорганизации прототипов /полюсов/ распознающей системы подтвердило справедливость указанной выше теоремы.

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ СЛЕДЯЩЕГО ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ И ЕГО ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Г. Воссиус и Ю. Вернер

Университет им. И.В. Гете

Франкфурт-на-Майне

Федеративная Республика Германии

На основании математического анализа многочисленных биологических экспериментов получено ясное представление о функциональной организации системы обработки информации следящего движения глаз. Всю систему можно разделить на непрерывную и дискретную части. Отдельный анализ обоих видов обработки проведенный с помощью специальных опытных устройств дал новые указания относительно адаптивных и прогнозных свойств всей системы. В особенности удалось выяснить адаптивный процесс дискретной системы при экспериментальном изменении условий обратной связи.

Многообразные возможности экстраполяции и прогноза, которыми обладает организм, были обобщены в математической модели не только для наглядного представления производительности этого регулировочного устройства, но для того, чтобы кроме специальных высказаний получить также лучшее представление функциональных принципов осуществляемых в биологических системах. Применимость этой общей функциональной концепции проверена путем моделирования системы следящего движения глаз.

М.А.Айзerman, Е.А.Андреева  
/Москва/

## 26.1. ПРОСТЕЙШИЙ ПОИСКОВЫЙ МЕХАНИЗМ УПРАВЛЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Дан обзор экспериментальных работ, направленных на выявление общих принципов и законов, используемых мозгом при управлении мышцами. Исследование проводилось на крысах, кроликах, человеке. Специальная методика, при которой живой организм включался в контур, охваченный внешней обратной связью, позволила создать искусственные режимы, при которых мозг вынужден решать поисковую задачу, связанную извне, используя только одну или две мышцы. Изучался процесс управления при поиске минимума болевого раздражения с помощью одной мышцы или двух не связанных между собой мышц и работе пары мышц-антагонистов.

На основе этих экспериментов выработаны модельные представления о законах управления, реализуемые при указанной выше поисковой активности.

Оценка параметров человеческой передачи  
в системе "человек - велосипед" во время измерения

Стабилизирующее явление велосипедиста сообщается. Работа начиналась с строением моделирующего устройства велосипеда, которому хватает продольного движения.

Однако, действия из-за этого на динамику моделирующего устройства принятся во внимание.

Как самая значительная переменная, чтобы передавать информацию о состоянии моделирующего устройства к человеку, работающему на него, угол между рамой велосипеда и вертикали наблюден.

Два действия велосипедиста, то есть: движения верхнего части тела велосипедиста и рукоятки, считаются действиями велосипедиста на моделирующее устройство.

Человеческая переходная функция определена употреблением техники оценки параметра. Математическая модель поведения человеческого приводителя считана состоящей из системы второго порядка и из запаздывания с зависимыми от времени параметрами.

Эти неизвестные количества линейной модели настраиваются во времени измерения в соответствии с критерием квадратного исполнения. Техника формировки достигнута с помощью маленькой вычислительной машины /память с сердечником - 4096 слов, 12 битов, время цикла 1,5 сек./.

Показывали, что вышеупомянутый метод - полезный инструмент для определения во время измерения характеристик человеческого приводителя, балансирующего на моделирующем устройстве.

ТЕСУЧАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ  
ЧЕЛОВЕКА В СИСТЕМЕ ЧЕЛОВЕК-ВЕЛОСИПЕД.

А. ван Лютерен.

Х. Г. Стассен

Рассматривается стабилизирующий феномен у велосипедиста. Работа была начата от построения модели велосипеда, которая не имела поступательного движения. Однако, влияние этого на динамику модели учтено при расчете.

Наблюдается, в качестве важнейшей переменной передаваемой оператору человека информации о состоянии модели, угол между рамой велосипеда и вертикалью.

Рассмотрены два действия велосипедиста, а именно движения верхней части тела и руля являющиеся воздействиями велосипедиста на модель.

Передаточная функция человека определена путем использования метода оценки параметров. Математическая модель поведения оператора человека рассмотрена в виде системы второго порядка со временем запаздывания переменных во времени параметров.

Эти неизвестные величины линейной модели настраиваются совместно согласно квадратическому критерию. Методика моделирования реализована с помощью небольшой ЦВМ (память на магнитных сердечниках - 4096 слов, 12 двоичных разрядов, цикл времени 1,5  $\mu$  сек.).

Показано, что упоминаемый выше метод пригоден для совместного определения характеристик оператора человека, балансирующего модель велосипеда.

ИСТОЛКОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ И  
КОЛЕВАНИЯ ДАННЫХ В ЗАМКНУТОЙ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ  
СИСТЕМЕ.<sup>x)</sup>

Р.Э.Мэгдалено, Д.Т.Мак Руер.

Системс Технолоджи, Инк., Хэвсорн, Калифорния, США.

Адаптивная модель была недавно развита для описания малых возмущающих воздействий нервно-мышечных возбужденных систем, вызываемых в процессе сокращения. Эта модель совмещает данные физиологических компонент и данные описывающей функции человеческого оператора. Целью этой работы является использование этой модели для истолкования возмущающих сил регулирующих данных и данных дрожания конечности как феномена замкнутого контура.

Данные о возмущающих силах доступные в литературе, были взяты по отношению к большим инерционным ограничениям и различным величинам мышечного тонуса. Реакция на импульс момента силы имеет доминирующую составляющую второго порядка, которая не совместима с характеристикой третьего порядка, ожидаемой от разомкнутого контура модели мышечной нагрузки. Тем не менее, мышечная осевая обратная связь отрезка внутренней мышцы происходит в результате появления нулевого числителя в описывающей функции "реакция конечности/возмущающие силы". Этот нуль изменяется с изменением группового напряжения по форме очень схожей на изменение действительного полюса системы мышечной нагрузки. Это аппроксимирующее взаимное сокращение полюс/нуль таким образом дает в результате доминирующую

систему второго порядка, которой параметры изменяются, с изменением натяжения, по качеству равносильно исходным данным.

Данные, доступные в литературе, о частоте дрожания конечности относились к изменениям скорости скачка и мышечного тонуса (без учета инерции) и к изменениям инерции и мышечного тонуса (без скачка). Осевая обратная связь отрезка внутренней мышцы производит частотное ограничение на слабо демпфирующую по высокой частоте доминирующую форму. Изменения этой формы, с изменением мышечного тонуса и величин регулируемого ограничения, вполне совместимы с данными изменения частоты дрожания конечности.

х)

Эта работа включает в себя исследования активно поддерживаемые Эмес Рисерч Сентер, Мэн-Мэшин Интегрейшн Брэнч, НАСА, Моудит Филд, Калифорния, согласно контракту НАС2-2824.

С.Д.Бар, Э.Р.Карсон, Л.Финкельштейн  
Отделение Автоматизации  
Городской Университет, Лондон Э.Ц.И У.К.

Э.А.Джонс  
Медицинское отделение  
Рояль Фри Госпиталь, Лондон В.Ц.И У.К.

### Исследование динамики обмена протеинов в плазме.

Разработана динамическая модель обмена альбумина и мочевины в человеке. Модель линеаризирована, редуцирована и сравнена с результатами испытаний на пациентах.

Сравнение показывает, что редуцированная модель соответствует биологическим измерениям в пределах ошибок допустимых для эксперимента.

Этот труд доказывает пригодность метода динамического анализа в медицинских исследованиях.

ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНАЯ ДИНАМИКА ОБ'ЕКТА: ЭЛЕКТРО-  
МОГРАФИЧЕСКИЕ И ПЕРЕХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
У КОТА.

В.Л.Зьюбер

Д-р фил.Дипатмент оф Информейшен Энджениринг  
Юниверсити оф Иллинойс эт Чикаго Сикл энд Дипат-  
мент оф Биомедикал Энджениринг Пресбигериен-Сант  
Луис Хоспитал.Чикаго,Иллинойс,США.

Движение глаз было вызвано подведением ряда частотно-модули-  
рованных импульсов к глазодвигательному нерву кота.Перемещение  
глаза (выход системы) и электромиограмма средних прямых муску-  
лов (промежуточный выход) были измерены при использовании си-  
нусоидальных и кратковременных входных сигналов.Оказалось, что  
мускулы вели себя нормально во всех отношениях.

Процесс образования электромиограммы не был основан на све-  
дении к минимуму стадии динамики представляемой обзум выходом  
системы.Результатом использования кратковременных входных им-  
пульсов были быстрые движения глаз типа "саккадик", таким обра-  
зом преодолевающие неустранимо медленную динамику об'екта.