

М 498395

Государственный комитет СССР по народному образованию

МОСКОВСКИЙ

ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА

На правах рукописи

Экз. N _____

ОРИНБЕТОВ Марат Механбетович

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ САМОГЕНЕРИРУЮЩЕГОСЯ ЛЕНТОЧНОГО
ПОДШИПНИКА И СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИЕЙ
ЛЕНТЫ ДЛЯ АППАРАТОВ ТОЧНОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Специальность 05.13.01 - Управление в технических системах

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1991

Работа выполнена на кафедре "Систем автоматического управления"
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
В. В. СОЛОДОВНИКОВ

Научный консультант - кандидат технических наук, доцент
Н. А. МАЛАХОВ

Официальные опоненты: доктор технических наук, профессор
МИЛОВ Л.Т.

кандидат технических наук
СПАВИН В.С.

Ведущая организация - НПО ТП

Защита состоится "16" декабря 1991г. в
на заседании Специализированного Совета
МГТУ им. Н. Э. Баумана по
2-я Бауманская ул., д.

Отзывы в 2-х экз. с
просьба высылать по 1

С диссертации можно
МГТУ им. Н. Э. В

Автореферат разосла

Ученый секретарь Спе
К. Т. Н., доц

М 498395

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современных объектах приборостроения, машиностроения и текстильной промышленности более широкое применение находят технические системы, использующие процессы с газодинамической смазкой.

Газовая смазка нашла интересное и важное применение в различных типах подшипников, в частности в т.н. ленточных подшипниках (ЛП).

В различных практических случаях ЛП выполняет в основном две роли: первая - когда ЛП выступает в роли направляющего (подающего) ролика, вторая - когда ЛП выступает в роли несущей опоры.

Классическим примером такой системы является узел блок вращающихся головок - магнитная лента (БВГ-МЛ) аппаратов точной магнитной записи наклонно строчного типа. Этот узел образует самогенерирующийся ленточный подшипник (СЛП).

Основной вклад в развитие теории и практики СЛП внесли зарубежные ученые Эшел, Элрод, Берлоу, Бауман, Мэй, Лихт и др.

Однако, несмотря на обилие работ в этой области практически открытой остается проблема оптимизации характеристик процессов, протекающих при работе СЛП. Это связано с тем, что в настоящее время последние недостаточно изучены. Не исследованы такие вопросы, как методы математического и численного моделирования различных состояний ленты, проблемы управления процессами протекающими в них, вопросы выбора оптимальных режимов работы СЛП.

В этой связи разработка адекватных математических моделей СЛП и алгоритмов оптимального управления формой ленты являются весьма актуальными задачами теории и практики автоматического управления сложными электромеханическими системами.

Цель и задачи исследования. Работа направлена на разработку научно-методического, алгоритмического и программного обеспечения исследования, моделирования и оптимизации процессов протекающих в СЛП посредством управления конфигурацией ленты. Разработанная методика численного моделирования и метод расчета оптимальных программ управления позволяют использовать разработки в различных конструкциях осесимметричных СЛП, тем самым добиваться их высокого качества функционирования.

В диссертационной работе ставятся и решаются следующие основ-

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1498395

Орымбетов М.М. Разработка

ные задачи:

- разработана обобщенная формализованная постановка задачи управления конфигурацией ленты при работе ленточных подшипников;
- разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния СЛП конечной и бесконечной ширины;
- разработана методика численного моделирования равновесных состояний ленты при работе СЛП;
- произведен синтез программы оптимального граничного управления конфигурацией ленты в СЛП;
- осуществлен синтез системы регулирования натяжения ленты (РНЛ) высокой точности, реализующей оптимальное программное управление конфигурацией ленты.

Методы исследования. При выполнении исследований и решении поставленных задач используются методы теории автоматического регулирования, математический аппарат теории оптимального управления, аппарат математической физики (теория газовой смазки и упругих тонких оболочек) теория подобия, методы численного интегрирования и отдельные разделы теории дифференциального исчисления.

Научная новизна. В диссертационной работе получены следующие научные результаты:

- 1) впервые сформулирована задача оптимизации параметров ЛП, как проблема управления конфигурацией ленты при работе ЛП;
- 2) разработаны математические модели напряженно-деформированного состояния СЛП конечной и бесконечной ширины с учетом сил вязкого трения действующих со стороны воздушного слоя, на гибкую тонкую ленту;
- 3) предложена методика численного исследования равновесных состояний ленты в зоне взаимодействия гибкой и жесткой поверхностей;
- 4) разработан метод расчета оптимального программного управления конфигурацией ленты в СЛП;
- 5) проведен структурный и параметрический синтез РНЛ высокой точности, реализующей оптимальное программное управление конфигурацией ленты в системах "блок вращающихся головок-магнитная лента" аппаратов точной магнитной записи (АТМЗ).

Практическая ценность диссертационной работы определяется тем, что на основании ее результатов:

- разработана модель и методика численного моделирования,

позволяющие вскрыть существующие резервы повышения качества функционирования СЛП различных конструкций;

-разработана комплексная система научно-методического, алгоритмического и программного обеспечения для решения задач управления сложными физико-механическими процессами, протекающих в СЛП;

-создан пакет прикладных программ с развитой системой меню и отображения графической информации для автоматизированного расчета параметров оптимального режима работы СЛП;

-реализована параметрическая оптимизация комплексной системы, как задача управления конфигурацией ленты в системе БВГ-МЛ прецизионных лентопротяжных механизмов (ЛПМ) АТМЗ.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались: на научных семинарах кафедры ИУ-1 МГТУ им. Н.Э.Баумана; на Всесоюзной научно-технической конференции "Автоматизация исследований, проектирования и испытаний сложных технических систем" (Калуга, 1989г.); на 3 Всесоюзной научно-технической конференции "Совершенствование технической базы, организации и планирования телевидения и радиовещания" (Москва, 1990г.); на Всесоюзном научно-техническом совещании "Теоретические и прикладные проблемы создания систем управления технологическими процессами" (Челябинск, 1990г.); на 2 научно-технической конференции молодых ученых специалистов с международным участием "Контроль, управление и автоматизация в современном производстве" (Минск, 1990г.).

Публикации. Материалы, отражающие основные научные результаты диссертационной работы, опубликованы в 10 печатных работах.

Реализация результатов работы. Теоретические и практические результаты использованы в научно-исследовательской работе, проводимой на кафедре ИУ-1 и НИИ ИСУ МГТУ им. Н.Э.Баумана по хозяйственным темам N Т-090187 и N И-111489.

Результаты работ использованы и внедрены в СКТБ "Видео", что подтверждается актом внедрения.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Основное ее содержание изложено на 160 страницах машинописного листа, иллюстрировано 26 рисунками и 6 таблицами. Библиография состоит из 88 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность проблемы, дается краткое изложение содержания работы, раскрывается новизна и практическая ценность полученных результатов.

Первая глава посвящена рассмотрению основных аспектов задачи оптимизации параметров ЛП в рамках проблемы управления конфигурацией ленты. Предлагается классификация существующих ЛП, проводится обзор современного состояния теоретических и экспериментальных результатов исследования подшипников, дается формализованная постановка задачи управления конфигурацией ленты в подшипниках и обсуждаются ее особенности.

ЛП представляет собой сложную кинематическую пару состоящую из двух разнородных поверхностей: одна — практически жесткая, а другая — гибкая, соответствующая сравнительно тонкой ленте. Эти поверхности взаимодействуют между собой через тонкий слой газа, создаваемый между ними за счет движения одной из двух или обеих поверхностей одновременно. Схема исследуемого объекта показана на рис. I.

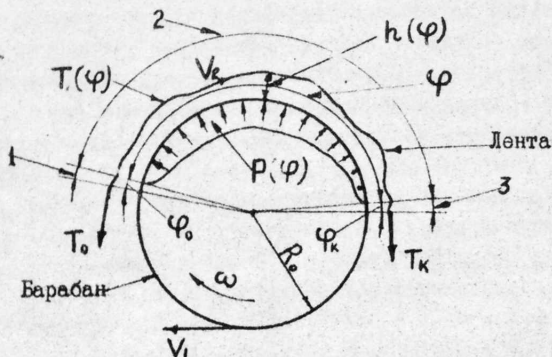


Рис. I Схема исследуемого объекта.

Здесь 1, 3 — входная и выходная зоны соответственно φ_0 и φ_K . 2 — зона активного контакта φ , R_0 — радиус вращающегося барабана, φ — текущая угловая координата, $h(\varphi)$ — толщина несущего воздушного слоя, $T(\varphi)$ — натяжение ленты, $P(\varphi)$ — избыточное давление, φ — текущая угловая координата, ω , V_1 — угловая и линейная скорости

вращающегося барабана соответственно, V_L — линейная скорость движения ленты, T_0, T_k — натяжение ленты на входе и выходе ЛП соответственно.

Предлагается классификация ЛП по следующим признакам:

- по принципу действия;
- по конструктивному исполнению,
- по роду материала тонкой ленты;
- по методам описания.

В настоящей работе рассматривается класс ЛП, являющихся по принципу действия самогенерирующимися, по конструктивному исполнению осесимметричными неполноохватывающими, по роду материала ленты абсолютно гибкими и по методам описания — одномерными нелинейными.

В результате многочисленных исследований отечественных и зарубежных авторов по ЛП сформировалось самостоятельное научное направление теории и практики ЛП, сочетающее теоретические и экспериментальные методы исследования с глубоким проникновением в физико-механическую сущность протекающих в ЛП процессов.

Для повышения качества функционирования СЛП, в частности в технике магнитной записи, весьма актуальной является задача оптимизации параметров подшипника.

В работе задачу оптимизации параметров СЛП предлагается рассматривать в рамках проблемы управления конфигурацией ленты. Поскольку состояние ЛП определяется тремя взаимосвязанными параметрами $h(\varphi)$, $T(\varphi)$ и $P(\varphi)$, отражающими динамику протекающих в СЛП процессов, то для высококачественного функционирования подшипника требуется обеспечить желаемое изменение этих параметров в зоне взаимодействия гибкой и жесткой поверхностей.

На основе анализа существующих конструкций ЛП и проведенных исследований можно сформулировать два варианта постановки задачи оптимизации СЛП.

Первая задача связана с определением конфигурации ленты ЛП, обеспечивающей максимизацию вертикальной компоненты результирующей силы избыточного давления в смазочной пленке:

$$W = \max_{T_0 \in \Omega, \varphi} \int_0^{\varphi_k} R P(\varphi) \sin \varphi d\varphi$$

при условии

$$h(\varphi) > h_{min} = \varepsilon$$

где h - несущая способность ЛП, ε - величина микронеровностей поверхностей, h_{min} - минимальная толщина смазочной пленки.

Вторая задача связана с обеспечением в ЛП желаемой конфигурации ленты $h^*(\varphi)$, в частности, близкой к круговой, при которой изменение характеристик ЛП в зоне взаимодействия гибкой жесткой поверхности были минимальны:

$$I = \min_{T_0 \in \Sigma, \varphi \in \varphi_0} \int_0^{2\pi} [h(\varphi, T_0(t)) - h^*(\varphi)]^2 d\varphi$$

где $\varphi = \text{const} > 0$, $h^*(\varphi)$ - заданная конфигурация ленты, $h(\varphi, T_0(t))$ - фактическая конфигурация ленты, являющаяся функцией независимой переменной φ и натяжения ленты на входе $T_0(t)$.

Первая задача связана с конструированием ЛП, обеспечивающего бесконтактный режим работы с максимальной нагрузочной способностью.

Вторая задача связана с обеспечением требуемых значений основных параметров ЛП, в частности, с обеспечением минимального их изменения в зоне взаимодействия гибкой и жесткой поверхностей. Подобная постановка задачи возникает при рассмотрении СЛП как узла ЛПМ в АТМЗ.

Вторая глава посвящена разработке математической модели напряженно-деформированного состояния СЛП конечной и бесконечной ширины с учетом сил вязкого трения, действующих на гибкую ленту со стороны смазочного слоя, а также исследованию на основе этой модели процессов, определяющих равновесное состояние ленты.

При построении математической модели напряженно-деформированного состояния ЛП конечной ширины используется аналитический подход на основе теории упругих тонких оболочек и теории газовой смазки.

При построении модели приняты следующие допущения:

- условия контакта рассматриваются в стационарном режиме;
- лента считается абсолютно гибкой;
- в качестве смазки принят воздух при условии его несжимаемости с постоянной динамической вязкостью ($\mu = \text{const}$);
- процесс считается изотермическим;
- натяжение ленты в зоне активного контакта пространственно неравномерно.

Полученная в результате исследования модель СЛП конечной ши-

рины в виде уравнения Рейнольдса и трех уравнений состояния безмоментной оболочки представляет собой недоопределенную (незамкнутую) двумерную нелинейную краевую задачу, описываемую уравнениями в частных производных.

Рассмотрена возможность доопределения (замыкания) системы дифференциальных уравнений переходом от модели в усилиях к модели в перемещениях, для чего используется закон состояния (закон Гука), связывающий усилия, приложенные к ленте, с деформациями, а деформации определяются полем перемещений соотношений Коши.

В диссертации показано, как определяются проекции внешней нагрузки, действующей на гибкую ленту со стороны смазочного слоя, на нормаль, касательную и образующую к ленте. Для этого рассматривается бесконечно малый элемент поверхности напряженно-деформированного состояния ленты, вырезаемый вместе с воздушной смазкой.

Важным этапом при построении модели СЛП является переход от модели конечной ширины к модели бесконечной ширины, который осуществляется путем сокращения числа уравнений и неизвестных. Такая редукция исходной модели подшипника обосновывается тем, что в этом случае размер СЛП вдоль координатной оси Z считается бесконечным ($Z=\infty$). Основанием для такого допущения служит то, что утечки воздуха влияют на конфигурацию ленты только на краях, и эта область довольно узкая.

Заключительный этап в построении модели СЛП, связан с переходом к безразмерной форме. Выводится специальная безразмерная форма системы уравнений СЛП, связывающая напряженно-деформированное состояние ленты с толщиной воздушной пленки, избыточным давлением и натяжением ленты.

Сформулированы граничные условия, соответствующие постановке задачи оптимизации СЛП бесконечной ширины. Граничные условия определяются физическим характером движения несущего слоя и условиями напряженно-деформированного состояния ленты на входе ЛП. В соответствии с рассматриваемыми величинами определяющими состояние ЛП устанавливаются значения для избыточного давления P_0 , натяжения ленты T_0 и толщины воздушной пленки h_0 во входной зоне.

В результате модель исследуемого объекта в безразмерной форме принимает следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\eta \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} \right) = \varkappa \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \varphi} + \frac{\partial (\Pi \eta)}{\partial \varphi} + \frac{\nu}{\eta} = 0 \quad (2)$$

$$\Pi(1+\eta) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\bar{T} \frac{\partial \eta}{\partial \varphi} \right) - \bar{T} = c \quad (3)$$

с граничными условиями следующей структуры:

$$\Pi(\varphi_0) = 1, \quad \bar{T}(\varphi_0, t) = \bar{T}_0(t), \quad \eta(\varphi_0) = \eta_0. \quad (4)$$

где φ - текущая угловая координата, t - время, $\Pi(\varphi) = P/P_0$ - безразмерное избыточное давление, $\eta(\varphi) = h/R_0$ - безразмерная толщина воздушной пленки, $\bar{T}(\varphi) = T/R_0$ - безразмерное натяжение ленты, $\varkappa, \nu$ - безразмерные коэффициенты, характеризующие конструктивные и режимные параметры ЛП, причем

$$\varkappa = \frac{6\mu U}{P_0 R_0}; \quad \nu = \frac{\mu V}{P_0 R_0}$$

где μ - динамическая вязкость воздуха, R_0 - радиус вращающегося барабана, P_0 - давление, формируемое на входе ЛП, $U = V_1 + V_2$, $V_1 = V_1 - V_2$, V_1 - линейная скорость поверхности вращающегося барабана, V_2 - линейная скорость движущейся ленты.

Разработана методика численного моделирования равновесных состояний ленты, которая состоит из двух этапов:

-преобразование исходной модели объекта исследования, путем сведения краевой задачи (I)-(4) к задаче Коши с использованием новых переменных $X_1(\varphi, t)$.

-моделирование режимов работы СЛП методом итерационной пристройки с использованием преобразованной модели.

С использованием этой методики проведено моделирование режимов работы подшипника и исследованы влияния различных конфигураций ленты на качество его функционирования: по изаны причины возникновения всплеска ленты (резкого изменения толщины воздушной пленки) в выходной зоне; возникновение режима голодания несущего слоя газа (когда избыточное давление, формируемое между гибкой и жесткой поверхностями, становится ниже атмосферного). Обнаружены возникновения таких нежелательных эффектов в динамике СЛП - "прилипание" $\eta(\varphi) \rightarrow 0$ и "раздувание" $\eta(\varphi) \rightarrow \infty$, нарушающих режим работы подшипников. Под эффектом "прилипания" будем понимать ре-

жим работы подшипников когда происходит разрушение несущего слоя газа т.е. $h=1, R_0 \cdot 9$. Под эффектом "раздувания" будем понимать режим работы подшипника, когда избыточное давление значительно возрастает к концу зоны взаимодействия поверхностей. А также проведено моделирование ряда режимов, имеющих место при работе ЛП.

Проведенный комплекс исследований показал, что основные параметры ЛП связаны между собой однозначно, причем существует такая конфигурация ленты (см. рис.2), определяемая соотношением входных параметров, при которой изменения основных параметров ЛП минимальны.

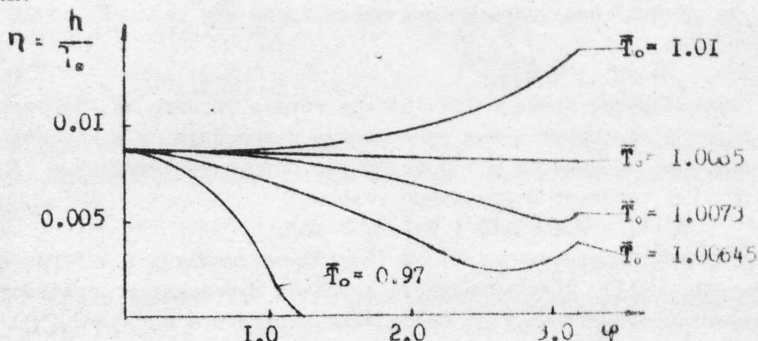


Рис.2 Конфигурация ленты для различных режимов работы СЛП.

Проведен анализ работы СЛП на примере системы БВГ-МЛ лентопотяжного механизма видеоманитофона. Указываются причины возникновения искажений сигналов при записи и воспроизведении информации на гибких магнитных носителях и предложены способы их устранения.

Проведенные в главе исследования позволили выявить возможности целенаправленного изменения конфигурации ленты и вскрыть особенности, возникающие при работе ЛП. При этом в качестве управляемой координаты может выступать толщина воздушной пленки $h(\varphi)$, а управляющим воздействием - натяжение ленты $\bar{T}_0(t)$, входящее в граничное условие рассматриваемой краевой задачи.

В третьей главе синтезируется оптимальное программное граничное управление конфигурацией ленты в СЛП. Приводится метод расчета оптимальной граничной программы для конечной конструкции СЛП и численные результаты расчета.

Механизм любого граничного управления сводится к формированию таких граничных условий, при которых процессы, протекающие в управляемом объекте, обеспечивают желаемую цель управления.

Уравнения процессов в СЛП в общем виде в цилиндрических координатах можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \varphi} = f_i(\varphi, Q_1, \dots, Q_n) \quad (i=\overline{1, n}) \quad (5)$$

где φ - текущая угловая координата, $\varphi_0 < \varphi < \varphi_k$, φ_0, φ_k - сечения ЛП непосредственного взаимодействия на входе и выходе соответственно, n - порядок системы.

На границе параметры Q_i подчинены граничным условиям следующего вида

$$Q_i(\varphi_0) = Q_{0i} \quad (6)$$

Рассматривая процесс (5), (6) как объект управления, переменную Q_i будем рассматривать как управляемую переменную, а в качестве управляющих переменных $U_r(t)$ будем рассматривать переменные СЛП $Q_r(\varphi_0, t)$, входящие в граничные условия

$$U_r(t) = Q_r(\varphi_0, t) \quad (r=\overline{1, m}, m < n) \quad (7)$$

Задача управления объектами (5)-(7) заключается в выборе управления $U_r(t)$ обеспечивающего желаемое изменение управляемой переменной объекта Q_i^* , т.е. обеспечения тождества: $Q_i(\varphi) = Q_i^*(\varphi)$.

Где $Q_i(\varphi, U_r(t))$ - фактическое состояние управляемого параметра, $Q_i^*(\varphi)$ - желаемое состояние управляемого параметра.

При формализации постановки данной задачи предлагается рассматривать ее как классическую задачу оптимального граничного управления: для объекта (5), (6) найти допустимое управление $U_r^*(t)$ и соответствующее ему решение $Q_i^*(\varphi)$ задачи (5)-(7), при которых отклонение состояния объекта от желаемого, характеризуемое функционалом

$$I = \int_{\varphi_0}^{\varphi_k} [Q_i(\varphi, U_r(t)) - Q_i^*(\varphi)]^2 d\varphi \quad (8)$$

принимало бы наименьшее возможное значение.

Решение поставленной задачи, т.е. минимизация функционала (8) проводится с использованием т.н. косвенных методов, путем непосредственного удовлетворения необходимым условиям оптимальности на основе классического вариационного исчисления с применением метода множителей Лагранжа. Для этого вводится в рассмотрение

вспомогательный функционал

$$I = \int_{\varphi_0}^{\varphi} [Q_1(\varphi, U(t)) - Q_1^*(\varphi)]^2 d\varphi + \int_0^t \int_{\varphi_0}^{\varphi} F dt d\varphi, \quad (9)$$

$$\text{где} \quad F = \sum_{l=1}^n \lambda_l \left(f_{l-1} - \frac{\partial Q_1}{\partial \varphi} \right)$$

и определяются необходимые условия минимума функционала (9) при ограничениях (5)-(7):

$$\frac{\partial \lambda_l}{\partial \varphi} = - \sum_{l=1}^n \frac{\partial^2 f_{l-1}}{\partial \varphi^2} \lambda_l, \quad (l=1, \dots, n) \quad (10)$$

$$Q_1(\varphi, U(t)) = 2[Q_1(\varphi, U(t)) - Q_1^*(\varphi)] \quad (11)$$

$$\int_0^{\varphi} \lambda_l(\varphi, U(t)) \delta U_l(t) dt = 0 \quad (12)$$

В результате алгоритм оптимального граничного управления формой ленты строится на основе метода последовательных приближений по формуле

$$U_{\varphi}^{b,j+1} = U_{\varphi}^b + \delta U_{\varphi}^b$$

где $\delta U_{\varphi}^b < \varepsilon$, $\varepsilon > 0$, ($\varphi = 1, \dots, m$), ($b=0, \dots, N-1$), а j означает j -й шаг приближения, причем сама процедура расчета оптимальной граничной программы сводится к решению системы сопряженных уравнений (10).

Алгоритм расчета искомого управления на j -м шаге имеет вид:

- выбирается допустимое управление $U(t)$, удовлетворяющее условию $U_{\min} < U_{\varphi} < U_{\max}$;

- для данного управления решается система (5)-(6), определяется состояние системы Q_1 и запоминается в достаточном количестве точек φ_{k1} ;

- на основе решения системы (10'), сопряженной к системе (5)-(6), путем интегрирования в обратном направлении определяется граничная функция качества (12), связывающая бесконечно малую вариацию управления δU с бесконечно малой вариацией функционала δI .

Рассмотрен численный метод расчета оптимальной программы на конкретном примере системы ЕВГ-МД опытового видеоманитофона "Электроника ВМ-12".

В диссертации приведен результат численного эксперимента по расчету оптимальных программ управления, которые показали высокую эффективность метода применительно к задачам оптимального

граничного управления конфигурацией ленты в прецизионных системах АТМЗ.

Четвертая глава посвящена разработке регуляторов натяжения ленты (РНЛ), реализующих оптимальные программы граничного управления конфигурацией ленты в системах БВГ-МЛ прецизионных ЛПМ АТМЗ.

Рассматриваются основные требования, предъявляемые к устройствам регулирования натяжения ленты, реализующим граничное оптимальное управление конфигурацией ленты в системах БВГ-МЛ.

Проведенный обзор современного состояния способов разработки регулирующих устройств натяжения ленты в ЛПМ показал, что при проектировании последних не учитывается наличие нестационарного элемента т.н. кинематического звена (КЗ), параметры которого меняются во времени. В современных кассетных видеомagnetофонов стандарта VHS момент инерции $J(t)$ и радиус рулона $R(t)$ катушечного накопителя могут изменяться в процессе работы ЛПМ на 30% и более, поэтому при разработке РНЛ этот факт не может игнорироваться. Описываются принципы построения РНЛ подающего узла и анализируется точность его функционирования. Показано, что вынужденная ошибка обладает свойством "ползучести", т.е. регулятор, настроенный на начальные значения параметров, со времени меняет свои динамические свойства.

Предлагаются две системы регулирования, реализующие оптимальное граничное управление конфигурацией ленты в системах БВГ-МЛ.

Первая система с гибкой структурой основана на идее метода "замороженных" параметров. Регулятор построен так, что в нем автоматически изменяются параметры корректирующих цепей в зависимости от момента инерции $J(t)$ и радиуса рулона $R(t)$ катушечного накопителя, для чего используется микропроцессор. Структура регулятора отражает идею автоматической подстройки, основу которой составляет комбинированный принцип регулирования натяжения ленты.

Вторая система с жесткой структурой основана на идее стационаризации. Регулятор построен так, что за счет увеличения коэффициента усиления прямой цепи $K \rightarrow \infty$ повышается точность системы и обеспечивается слабая чувствительность к изменениям переменного параметра $R(t)$. Введением стабилизирующего контура обеспечивается устойчивость и заданное качество системы регулирования. Фактически этот подход позволяет навязывать исходной нестационарной

системе свойства стационарной системы, с желаемым качеством. В основу РНЛ жесткой структуры положен принцип регулирования по отклонению. Рассматриваются следующие показатели качества:

- а) время регулирования системы t_p ;
- б) максимальное перерегулирование σ_{max} ;
- в) установившаяся точность системы Δ .

Предлагаемый метод стационаризации системы автоматического регулирования с одним кинематическим звеном позволяет проводить структурный и параметрический синтез системы регулирования натяжения ленты, обеспечить заданные качественные показатели и снять вопрос "ползучести" нестационарной системы.

Изложение ведется для случая, когда датчик натяжения ленты представлен передаточной функцией колебательного звена:

$$W_1(p) = \frac{K_1}{T_1^2 p^2 + 2\xi T_1 p + 1}$$

$$n_1 = \deg B_1(p) = 2$$

Привод в тормозном режиме рассматривается в виде аperiodического звена:

$$W_2(p) = \frac{K_2}{T_2 p + 1}$$

$$n_2 = \deg B_2(p) = 1$$

КЗ представлено переменным коэффициентом передачи

$$K_0(t) = 1/R(t).$$

при условии, что переменный параметр изменяется в конечном диапазоне $R_{min} < R(t) < R_{max}$

Здесь R_{max} , R_{min} максимальное и минимальное значения радиуса намотки, K_1, K_2 коэффициенты передачи датчика и привода, T_1, T_2 г постоянные времени датчика и привода соответственно.

В диссертационной работе приведен пример использования полученных в работе результатов исследования для расчета систем автоматического управления конфигурацией ленты в конкретном типе ЛПМ. В качестве примера рассматриваются ЛПМ видеоманитофонов.

Анализ результатов показал, что применение разработанного комплекса научно-методического, алгоритмического и программного обеспечения позволяет получить приемлемую для инженерных расчетов точность функционирования СЛП, тем самым компенсировать искажение формы ленты от круговой, вызванное конструктивной осо-

бенностью ЛПМ.

В приложении приводятся результаты численного эксперимента по моделированию процессов в СЛП бесконечной ширины.

3. В диссертационной работе разработано научно-методическое, алгоритмическое и программное обеспечение исследования, моделирования и оптимизации характеристик процесса, протекающего в СЛП посредством управления конфигурацией ленты. Разработанная методика численного моделирования и метод расчета оптимальных программ управления применима для различных конструкций осесимметричных СЛП и обеспечивает высокое качество их функционирования.

В рамках диссертационных исследований получены следующие основные результаты.

1. Проведен обзор современного состояния теоретических и экспериментальных методов исследования ЛП (36 работ за 26 лет), который позволил установить отсутствие к настоящему времени полной математической модели, описывающей поведение ленты в "П" в зоне активного контакта с учетом ее упругих деформаций, а также сформулировать основные задачи управления конфигурацией ленты, охарактеризовать особенности этих задач и выбрать критерии оптимизации.

2. Впервые сформулирована задача оптимизации параметров ЛП, как проблема управления конфигурацией ленты.

3. Построены математические модели напряженно-деформированного состояния СЛП конечной и бесконечной ширины, с учетом касательных сил со стороны смазочного слоя. При этом использованы результаты теории газовой смазки и упругих тонких оболочек. Полученные модели представляют собой многосвязные, нелинейные краевые задачи, описываемые уравнениями в частных производных.

4. Получена безразмерная форма математической модели СЛП бесконечной ширины, связывающая напряженно-деформированное состояние ленты, толщину воздушной пленки $h(\varphi)$, избыточное давление $P(\varphi)$ и натяжение ленты $T(\varphi)$ в зоне взаимодействия гибкой и жесткой поверхности.

5. Проведено численное моделирование равновесных состояний ленты СЛП в зоне активного контакта. Исследовано влияние различных конфигураций ленты на качество функционирования СЛП. Определены оптимальные режимы работы СЛП.

6. Выведены необходимые и достаточные условия оптимального

граничного управления конфигурацией ленты в СЛП. Условия оптимальности выводятся с использованием косвенных методов путем непосредственного удовлетворения необходимых условий оптимальности на основе классического вариационного исчисления с применением множителей Лагранжа.

7. Предложен метод расчета оптимальной программы граничного управления конфигурацией ленты в СЛП, использующий метод последовательных приближений. Метод расчета строится на решении т.н. систем сопряженных уравнений, учитывающих специфику граничного управления, использует упрощенный алгоритм определения граничной функции качества.

8. Сформированы рациональные структуры РНЛ, реализующие программы оптимального граничного управления конфигурацией ленты в СЛП. Предложены две системы РНЛ: система регулирования с гибкой структурой, основанная на идее метода "замороженных" параметров и система регулирования с жесткой структурой, основанная на идее стационаризации системы с переменными параметрами.

9. Параметры спроектированной РНЛ с жесткой структурой обеспечивают в САУ конфигурацией ленты желаемые требования к точности и качеству процесса стабилизации.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах.

1. Воронов И.В., Орымбетов М.М. Автоматизированный комплекс анализа основных возмущений ЦМ видеомгнитофонов // Актуальные проблемы информатики, управления, радиозлектроники и лазерной техники: Тез. съ докл. Всесоюзная конференц. ИТТМ и студентов. - М., 1989. - С.30-31.

2. Гуськов А.М., Малахов Н.А., Орымбетов М.М. Разработка и исследование математической модели винтового ленточного подшипника // Автоматизация исследования, проектирования и испытаний сложных технических систем: Тезисы докл. ВНТК. - Калуга, 1989. - С.163.

3. Малахов Н.А., Гуськов А.М., Орымбетов М.М. Математическое моделирование процессов в активной зоне блока вращающих головок и анализ факторов, определяющих искажение сигнала // Совершенствование технической базы, организация и планирование телевидения и радиовещания: Тезисы докл. III ВНТК. - М., 1990. - С.80.

4. Малахов Н.А., Орымбетов М.М., Нигай Р.М. Алгоритмическое и программное обеспечение идентификации и управления в системах

автоматизации научных исследований // Контроль и управление в современном производстве: Тезисы докл. ВНТК.- Ереван, 1988. С.71-72.

5. Малахов Н.А., Филимонов Н.Б., Орымбетов М.М. Синтез систем автоматического регулирования для одного класса нестационарных объектов методом стационаризации // Современные проблемы электромеханики и автоматизации технологических комплексов: Тезисы докл. НТК.- Алма-Ата, 1990.- С.6.

6. Малахов Н.А., Филимонов Н.Б., Орымбетов М.М. Автоматизация исследования, моделирования и оптимизации процессов управления одного класса объектов с распределенными параметрами // Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами: Тезисы докл. 4-я Всесоюзная школа.- Харьков-Туапсе, 1990.- С.41.

7. Малахов Н.А., Филимонов Н.Б., Орымбетов М.М. Задача граничного управления конфигурацией ленты в ленточных подшипниках // Контроль, управление и автоматизация в современном производстве: Сборник докл. и сообщений. ВНТК молодых ученых и специалистов с международным участием.- Минск, 1990.- С.88-91.

8. Орымбетов М.М. Применение микро-ЭВМ для экспериментальной оценки параметров динамических систем // Математическое, алгоритмическое и техническое обеспечение АСУТП: Тезисы докл. 5-я ВНТК.- Ташкент, 1988.- С.72.

9. Орымбетов М.М. Об одной задаче граничного управления процессами в сплошных средах // Теоретические и прикладные проблемы создания систем автоматического управления технологическими процессами: Тезисы докл. XII ВНТС.- Челябинск, 1990.- С.191-192.

10. Филимонов Н.Б., Гуськов А.М., Орымбетов М.М. Моделирование, управление и оптимизация процессов в электромеханических системах на примере ленточных подшипников // Современные проблемы электромеханики и автоматизации технологических комплексов: Тезисы докл. НТК.- Алма-Ата, 1990.- С.7.



Заказ 4813 объем 1 п.л., тираж 100 экз., подп. к печ. 31.08.91

Типография МГТУ им.Н.Э. Баумана