

15585-14

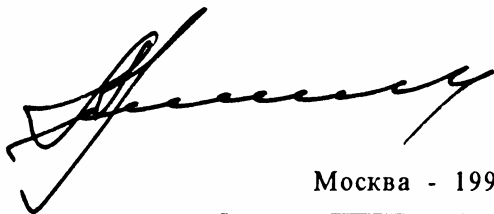
На правах рукописи
УДК 621.9.06:62-503.53

Зимин Алексей Васильевич

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ПЛЕНКОПРОТЯЖНЫМИ ТРАКТАМИ
КОСМИЧЕСКИХ КАДРОВЫХ ФОТОАППАРАТОВ**

Специальность 05.13.14 – Системы обработки информации и
управления

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва - 1998

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском институте Автоматики и Гидравлики.

Научный руководитель:

- заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор Медведев В.С.

и

Официальные оппоненты:

и

- заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор Кулешев В.С.;
- кандидат технических наук Шацкий А.В.

Ведущая организация:

АО "Красногорский завод им. С.А.Зверева"

Защита диссертации состоится "24" июня 1998 года на заседании диссертационного совета ССК 053.02.04 в МГТУ им. Баумана, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

экземпляре, заверенные печатью изданному адресу.

сохраняться в библиотеке МГТУ

24 1998 г.

1558514

Максимов А.И.



1558514

Зимин А.В. Проектирование

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

ность проблемы. Основная проблема, стоящая перед создателями космических фотоаппаратов – задача повышения разрешающей способности фотоаппарата. Эта задача имеет три направления своего решения. Первое – создание оптической системы фотоаппарата, обеспечивающей необходимое увеличение фотографируемых объектов; второе – повышение фоточувствительности пленки; третьим неперенным условием является создание высокоточных систем управления технологическим процессом съемки. В третьей проблеме выделим вопросы, связанные с созданием прецизионных систем управления скоростью (СУС) дискового затвора и устройствами, компенсирующими сдвиг изображения в процессе съемки. К этим системам, особенно к СУС дискового затвора, помимо требований поддержания высокой стабильности заданной скорости, предъявляются жесткие требования к качеству переходного процесса и быстродействию.

За два последних десятилетия были разработаны, в том числе и с участием автора, несколько поколений систем управления для космических фотоаппаратов различного назначения.

Начало было положено работами к.т.н. Соколова Л.М. Большой вклад в развитие и совершенствование систем управления скоростью космических фотоаппаратов внесли д.т.н. Блейз Е.С., д.т.н. Трахтенберг Р.И., д.т.н. Чемоданов Б.К., к.т.н. Мерзляков Ю.В. Комплексные вопросы создания, в связи с привязкой систем управления скоростью к фотоаппарату, решались Корницким И.П., д.т.н. Некрасовым В.В., Чуфистовым В.В., Дьяковым В.И., Колесневым А.Н.

Совершенствование систем, особенно в изделиях первых поколений, велось, главным образом, путем ужесточения требований к комплексу приборов, в частности к тахогенераторам, использовавшимся в качестве датчиков главной обратной связи систем регулирования скорости. Возможности улучшения характеристик за счет структурных решений были достаточно ограничены в условиях жестких требований к массогабаритным показателям и недостаточно совершенной радиоэлектронной базы аппаратуры управления.

Современный этап характеризуется возрастанием требований к показателям точности и быстродействия, что практически исключает возможность использования некоторых традиционных технических решений, таких, например, как тахометрическая схема регулирования с аналоговыми датчиками скорости (тахогенераторами), и заставляет искать более эффективные способы управления для обеспечения заданных показателей.

С другой стороны, современный уровень развития микроэлектроники дает возможность реализовать достаточно сложные алгоритмы управления при малых объемах аппаратуры. Благодаря этому необходимые вариации параметров управления для различных СУС могут быть обеспечены программным путем без изменения базовой структуры системы.

Цель исследования. Целью диссертационной работы является разработка принципов построения прецизионной системы управления скоростью и методов ее проектирования применительно к космическим кадровым фотоаппаратам. В работе поставлены и решены следующие задачи:

- разработка принципов управления скоростью по интегралу от регулируемой координаты (углу) с использованием микропроцессорного комплекта;
- построение обобщенной математической модели прецизионных систем управления скоростью;
- исследование динамики прецизионных систем, управляемых по току и по напряжению;
- анализ факторов, дестабилизирующих систему управления скоростью, и их влияния на качество системы;
- формирование основных требований, предъявляемых к СУС с позиций оценки ее качества;
- установление взаимосвязи между качеством регулирования СУС и качеством фотоснимка;
- разработка новых исполнительных, информационных и преобразующих элементов для СУС;
- моделирование работы прецизионной СУС с отработкой элементов ее алгоритмического и программного обеспечения;
- теоретическое обоснование и разработка методов синтеза СУС.

Методы исследования. В теоретических исследованиях использованы методы линейной и нелинейной теории регулирования, теории электрических машин, методы статистической динамики и методы расчета схем силовой электроники. Экспериментальные исследования проводились на специально разработанных стендах для статических и динамических испытаний и контрольно-проверочном стенде с использованием программно-аппаратного комплекса.

Научная новизна. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований в диссертации получены новые научные результаты:

1. Предложена новая схема построения систем управления скоростью, основанная на управлении по интегралу от регулируемой координаты.

2. Получена обобщенная математическая структурно-функциональная модель системы управления скоростью, на основе которой отработаны как алгоритмы функционирования системы управления скоростью, так и микропроцессорный контроллер.

3. Разработана и теоретически обоснована методика оценки качества снимка.

4. Предложена методика оперативного определения отклонения мгновенной скорости и оценки средней скорости за оборот.

5. Предложены алгоритмы обработки сигналов датчика приращения угла, позволяющие существенно уменьшить его инструментальную погрешность.

Практическая значимость. В результате проведенных исследований разработана инженерная методика синтеза широкого класса систем управления скоростью для космических фотоаппаратов, позволяющая произвести выбор структуры, определение необходимых параметров законов управления и ожидаемых характеристик, математическое моделирование и экспериментальные исследования СУС. Даны практические рекомендации по реализации основных функциональных элементов СУС: индукционного датчика приращения угла, микропроцессорного контроллера и исполнительных устройств.

Внедрение. Результаты работы использованы и внедрены на ГП ЦНИИ АГ, на АО "Красногорский завод им.С.А.Зверева", НПО "БЕЛОМО" (г.Минск).

Результаты диссертационной работы использованы при создании систем управления скоростью кадровых космических аппаратов "Яшма", "МК-4".

На основе исследований, выполненных в диссертации, разработаны:

- СУС ТКФ-300, находящаяся в стадии изготовления на производстве ГП ЦНИИ Автоматики и Гидравлики;

- СУС "Гемма", "Камя", входящие в комплекс "Ника-Кубань", находящиеся в стадии рабочего проектирования.

Материалы диссертации вошли в курс лекций "Перспективы развития новой техники" на кафедре М-7 МГТУ им.Баумана в 1996 г.

Публикации. Материалы, отражающие основные научные результаты диссертационной работы, представлены в шести печатных работах и в семи научно-технических отчетах.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня использованной литературы, приложения и документов, подтверждающих внедрение результатов диссертации в промышленное производство. Работа выполнена на 167 страницах, включая 119 страниц машинописного текста, 42 страницы рисунков и таблиц, 6 страниц списка литературы, содержащего 79 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обосновывается актуальность проблемы, проводится обзор работ в области создания систем управления пленкопротяжными трактами космических фотоаппаратов и анализ возможных способов решения задачи, формулируется цель диссертации и производится выбор направления исследований.

В первой главе изложены основные принципы построения систем управления скоростью. Проведен анализ приводов, входящих в состав функциональных механизмов космических фотоаппаратов (КФА).

В качестве базовой структуры для СУС, к которым предъявляются повышенные требования по точности поддержания скорости и быстродействию, принята схема следящей системы с коммутируемым контуром управления по углу.

В качестве датчика обратной связи (ДОС) используется датчик приращения угла. С датчика обратной связи информация снимается в мо-

менты прохождения фиксированных значений угла $\alpha_{доc} = \frac{2\pi \cdot n}{z}$, где n - целое число, z - число зубцов датчика. Эта информация, в виде импульсов обратной связи, используется как для формирования обратной связи по скорости, так и для формирования углового (фазового) рассогласования в контуре управления по угловому отклонению. Контур управления по отклонению скорости включен в работу СУС постоянно и обеспечивает противодействие быстроменяющимся возмущающим факторам, устойчивость

углового контура регулирования и качество процессов в переходных режимах СУС.

Наличие контура управления по угловому отклонению обеспечивает высокую точность поддержания средней и мгновенной скорости СУС.

Ошибка слежения по углу $\Delta\beta$ определяется как фазовое рассогласование между моментами поступления импульсов задающей последовательности и моментами поступления импульсов обратной связи. Контур управления по угловому отклонению включается в работу только при вхождении ошибки по скорости $\Delta\Omega$ в задаваемую "трубку" значений $\leq |\Delta\Omega_{\text{зп}}|$.

В целях практической реализации предложенной структуры была разработана СУС с микропроцессорным управлением (рис.1), в которой все основные функции по обеспечению регулирования СУС в контурах управления, а также задачи по приему кодов задания скорости, сигналов датчика приращения угла (ДПУ) и формированию сигналов управления усилителем мощности (УМ) выполняет микропроцессорный контроллер (МПК). Показаны особенности реализации функциональных элементов схемы СУС. При этом часть из них решается только программным способом – это логические и математические элементы, часть только аппаратным способом – это преобразователь сигналов ДПУ и формирователь опорной частоты (ФОЧ), а часть программно-аппаратным способом – это формирователи задающей последовательности импульсов (ФЗПИ), кода скорости (ФКС), кода отклонения по углу (ФКОУ), ШИМ-сигналов (ФШИМ).

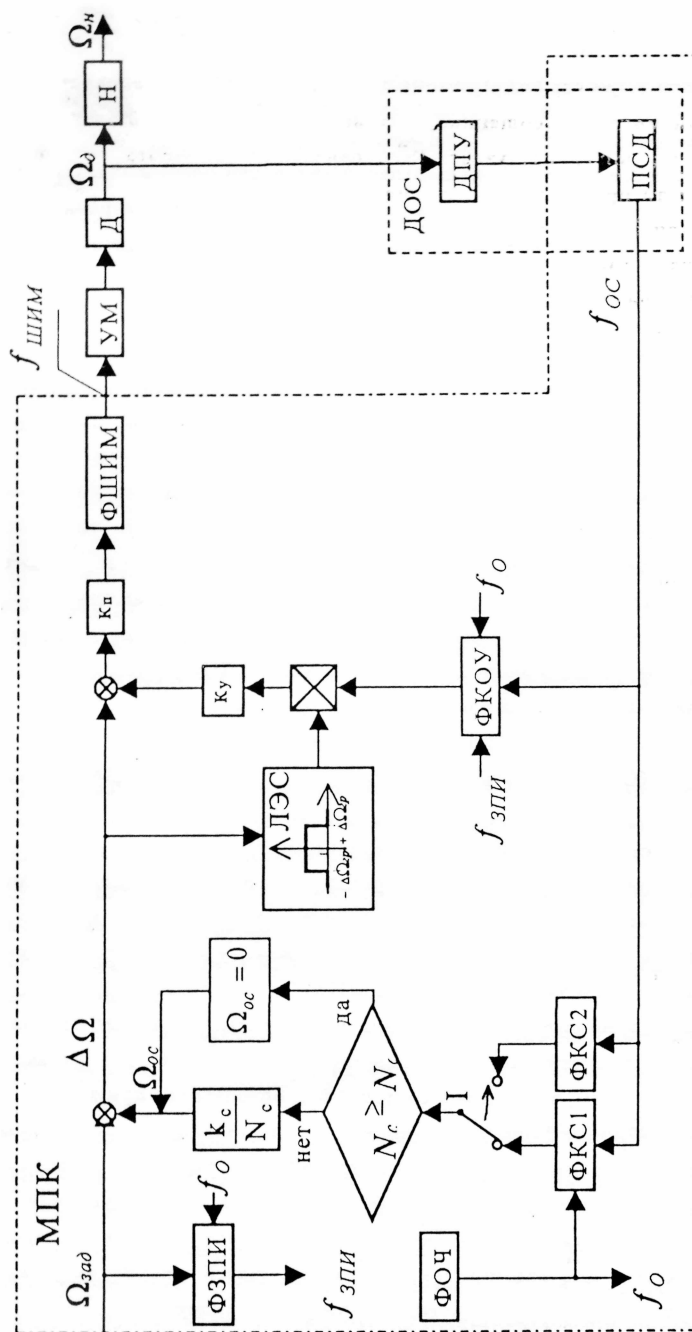
Для высокоточных систем управления скорости и других приводов КФА разработан микропроцессорный контроллер. Определены принципы и особенности работы МПК при регулировании СУС в контурах управления по отклонению скорости и по угловому отклонению, а также отдельных функциональных устройств МПК.

Микропроцессорный контроллер позволяет на основе его аппаратной части и изменяемого программного обеспечения реализовывать различные приводы, входящие в состав КФА, обеспечивая при этом:

эффективное решение функций и задач для всех приводов, входящих в состав исполнительных механизмов КФА, в том числе и сложных алгоритмов с нелинейными элементами и перестраиваемой структурой;

возможность использования только одного датчика – датчика приращения угла для формирования обратных связей в контурах управления СУС: по отклонению скорости и по угловому отклонению;

высокую надежность функционирования приводов КФА;



аппаратную минимизацию и унификацию управляющей части приводов КФА.

Во второй главе проводятся аналитические исследования линеаризованной модели обобщенной системы управления скоростью и ее основных функциональных узлов. Рассмотрены два варианта реализации силовой части применительно к исполнительному двигателю постоянного тока с независимым возбуждением: вариант с управлением по напряжению якоря двигателя и вариант с управлением током якоря.

По уравнениям силовых частей, полученным для каждого из видов управления, проведена сравнительная оценка характеристик.

С учетом данных первой главы во второй главе выведены уравнения позиционной следящей системы, замкнутой главной обратной связью по углу поворота вала через датчик приращения угла и вспомогательной обратной связью по скорости выходного вала, сформированной на базе информации о приращении угла, снимаемой с того же датчика.

На основе конкретных уравнений дан анализ основных составляющих ошибки стабилизации скорости и углового рассогласования. Показано, что одним из главных дестабилизирующих факторов являются пульсации момента на валу двигателя. Влияние этих пульсаций может быть уменьшено до допустимых пределов, в основном за счет соответствующего выбора коэффициента обратной связи по скорости.

Обоснована целесообразность использования в СУС сигнала, пропорционального величине задаваемой скорости как с позиции оптимизации переходных режимов при ступенчатом изменении задаваемой скорости, так и по условиям работы в установившемся режиме.

На основе анализа структурного построения СУС и полученных аналитических зависимостей дана методика определения основных параметров управления. Предложены следующая последовательность и условия определения параметров:

- определяется коэффициент усиления в контуре обратной связи по скорости, исходя из амплитуды пульсаций возмущающего момента и допустимой величины отклонения скорости;
- определяется коэффициент усиления в контуре управления по угловому рассогласованию, исходя из условий аperiodического характера переходных процессов и максимальной скорости их протекания с учетом ранее полученного значения коэффициента обратной связи по скорости;
- определяется минимально допустимое число зубцов датчика приращения угла, исходя из условия устойчивости контуров управления при выбранных коэффициентах усиления при работе СУС на минимальной

скорости;

- определяется коэффициент усиления в цепи компенсирующей связи по задаваемой скорости;

- определяется минимально допустимая частота широтно-импульсной модуляции тока якоря двигателя, исходя из допустимой величины пульсаций скорости;

- определяется минимально допустимое значение частоты тактовых импульсов, используемых для вычисления сигналов скорости, исходя из допустимой ошибки определения скорости (амплитуды пульсаций помехи);

- определяется граничное значение числа тактовых импульсов, используемых при определении скорости, исходя из условия допустимой зоны нечувствительности в контуре обратной связи по скорости.

В третьей главе работы рассматриваются вопросы практической реализации СУС дискового затвора и механизма компенсации сдвига изображения. Учитывая циклический характер изменения отклонения мгновенной скорости на одном обороте вала ДПУ и среднее постоянство скорости в позиционной системе, в работе предложена практически удобная и достоверная оценка отклонения мгновенной скорости на одном обороте вала ДПУ:

$$\frac{\dot{\alpha}_{\partial \max} - \dot{\alpha}_{\partial \min}}{\beta_{\partial}} \approx \frac{2 |N_{\min} - N_{\max}|}{N_{\max} + N_{\min}},$$

где $\dot{\alpha}_{\partial \max}$ и $\dot{\alpha}_{\partial \min}$ - максимальное и минимальное значения скоростей на одном обороте вала ДПУ, измеренных на одном шаге;

β_{∂} - расчетное значение скорости;

$N_{\max}$ и $N_{\min}$ - число высокочастотных импульсов, измеренных микропроцессорным контроллером, соответствующих минимальному и максимальному значению скоростей на шаге.

Предложенная оценка отклонения мгновенной скорости оказывается удобной для рассматриваемого типа систем, она имеет выход в практическую оценку качества СУС и может быть использована при оперативном контроле аппаратуры. Столь же удобной оказывается введенная оценка "средней скорости на оборот", которая осуществляется в соответствии с зависимостью:

$$\dot{\alpha}_{\text{ср}} = \frac{2\pi f_0}{zN_0 + N_z - N_1},$$

где N_0 - число импульсов на шаге ДПУ, соответствующее заданной скорости;

N_1 и N_z - число импульсов на первом и последнем шаге ДПУ в пределах оборота его вала.

В работе исследована взаимосвязь между точностными показателями СУС, принятыми критериями их оценки и влиянием погрешности стабилизации скорости на качество процесса фотографирования. Наиболее неблагоприятно на процесс фотографирования влияют постоянные отклонения от заданной скорости. В системе дискового затвора они приводят к максимальному, для данного значения абсолютной величины погрешности стабилизации скорости, изменению времени выдержки от заданного. В системе компенсации сдвига изображения постоянные отклонения скорости приводят к максимальному, для данного значения абсолютной величины погрешности, смазу изображения. Влияние переменных составляющих погрешности стабилизации скорости сказывается в меньшей степени и зависит не только от их амплитуды, но и от частоты.

В работе исследована возможность использования в приводе дискового затвора бесконтактного синхронного двигателя встраиваемого исполнения. Привод с синхронным двигателем обеспечивает более высокое быстродействие при разгоне из выключенного состояния и при изменениях скорости в процессе смены выдержки и дает преимущества по массогабаритным показателям, благодаря встраиваемой конструкции и удобству компоновки в механизме затвора.

Предлагаемый синхронный двигатель рассматривается как электромашинный агрегат, в состав которого входят собственно двигатель, тахогенератор и датчик положения ротора, обеспечивающий коммутацию обмоток управления двигателя.

Принцип управления по интегралу от регулируемой координаты реализуется с использованием датчика приращения угла, который формирует импульсы, равномерно расставленные на углах, равных $\frac{2\pi}{z}$. При вращении ротора датчика формируется последовательность импульсов, сумма которых определяет угол поворота его вала.

Принцип датчика основан на том, что магнитный поток через кольцевую обмотку, создаваемый остаточным намагничиванием материала ротора и статора, при повороте ротора относительно статора изменяется вследствие изменения магнитной проводимости при относительном смеще-

нии зубцов. Вследствие этого в обмотке возникает переменная ЭДС, частота которой определяется частотой изменения магнитной проводимости зубчатого кольцевого зазора. Сигнал датчика помимо полезной составляющей содержит сигнал помехи, определяемой эксцентриситетом ротора, что приводит к смещению формируемых импульсов по положению. В работе получена оценка погрешности определения приращения угла в зависимости от параметров датчика и алгоритма обработки выходного сигнала.

В четвертой главе рассмотрена процедура синтеза СУС с использованием обобщенной математической модели СУС как инструмента синтеза. Необходимость использования математической модели СУС при ее синтезе обусловлена тем, что определение параметров СУС на базе ее линейной модели с использованием теории импульсных систем не обеспечивает достижения необходимых показателей качества. Система управления скоростью представляет собой цифровую систему, которую нельзя синтезировать на основе традиционных подходов. Обобщенная математическая модель системы управления скоростью с интегралом от выходной координаты позволяет создать на ее основе программу моделирования и провести с ее помощью синтез системы космического фотоаппарата с отработкой элементов алгоритмического и программного обеспечения. В соответствии с этим в главе решены следующие задачи:

- разработана математическая модель блока силовой части, включающего усилители мощности различного типа и исполнительный двигатель, управляемый от них;
- разработана математическая модель блока контура управления по интегралу от регулируемой координаты, включающего формирователь задающей последовательности импульсов с частотой, пропорциональной коду задающей скорости, формирователь принимающей последовательности импульсов с частотой, пропорциональной скорости системы, и элементы, обеспечивающие формирование сигнала управления системой;
- разработана математическая модель блока микропроцессорного контроллера с возможностью имитации работы программного обеспечения в части времени выполнения программы контроллера;
- разработана обобщенная математическая модель систем управления скоростью рассматриваемого класса и на ее основе создана программа моделирования;
- разработана процедура синтеза САУ, основанная на использовании обобщенной математической модели;
- проведен синтез реальной системы управления скоростью кос-

мического фотоаппарата ТКФ-300.

В основу создания обобщенной модели СУС положен принцип структурно-функционального моделирования, при котором математическая модель системы в целом строится из математических моделей отдельных блоков, каждый из которых соответствует реальному функциональному устройству или группе устройств и которые в модели соединяются между собой согласно реальным физическим связям между отдельными функциональными устройствами конкретной системы. В качестве исполнительного двигателя в модели использован двигатель постоянного тока, а для управления им предусмотрены различные варианты построения усилителей мощности:

- широтно-импульсный модулятор;
- усилитель постоянного тока;
- широтно-импульсный модулятор, силовые ключи которого охвачены обратной связью по току, гальванически развязанный с микропроцессорным контроллером и реализующий корректирующие цепи системы.

Модель блока контура управления по интегралу от регулируемой координаты включает формирователь задающей последовательности импульсов и формирователь принимающей последовательности - датчик приращения угла, в модели которого предусмотрено наличие эксцентриситета его ротора. Степень детализации модели позволяет моделировать процессы в системе на уровне подсчета числа импульсов опорной частоты между задающими и принимающими импульсами. В модели полностью реализована процедура самоперестройки структуры реальной системы, необходимая для перевода ее из состояния покоя в режим стабилизации скорости.

Моделирование работы микропроцессорного контроллера включает:

- моделирование реализации процедуры управления системой в контроллере как подпрограммы обработки прерывания, возникающего от каждого из задающих импульсов;
- моделирование процесса цифро-аналогового преобразования кода на выходе контроллера в напряжение для случаев использования усилителя постоянного тока;
- выбор значения единицы младшего разряда;
- моделирование времени выполнения программы регулирования, реализующей корректирующие цепи, что обеспечивает моделирование реальной частоты квантования по времени в системе, которая в общем случае может не совпасть с частотой задающих импульсов.

Особенностью обобщенной модели является возможность модели-

рования различных вариантов структурного построения СУС, что достигается наличием в ней большого числа переключателей. В обобщенной модели предусмотрено получение различных оценок точности стабилизации, в том числе по методикам, разработанным в третьей главе.

Процедура синтеза СУС представляет собой итерационный процесс достижения заданных в ТЗ показателей качества и состоит из следующей последовательности шагов:

- анализ технического задания;
- определение структурно-функционального построения СУС;
- энергетический расчет;
- определение коэффициентов усиления расчетной структуры;
- выбор числа зубцов датчика приращения угла;
- выбор опорной частоты СУС;
- выбор параметров широтно-импульсного модулятора;
- определение коэффициентов усиления обобщенной модели;
- определение порогов включения в работу контура управления по интегралу от регулируемой координате;
- уточнение регулировочных параметров СУС без учета возмущающих факторов;
- оптимизация числа зубьев датчика приращения угла;
- оценка вычислительной мощности микропроцессорного контроллера;
- определение показателей качества СУС с учетом всех факторов.

Итерационный характер процедуры синтеза состоит в том, что ряд шагов предусматривает возврат на предшествующие шаги для изменения выбранных параметров с целью достижения требуемых показателей качества работы СУС.

В пятой главе рассмотрены результаты экспериментальных исследований основных функциональных элементов и системы управления в целом. Исследования проводились с целью подтверждения основных теоретических положений диссертации и возможности практической реализации функциональных элементов с заданными характеристиками. В процессе экспериментальных исследований произведена также практическая отработка предложенных в диссертации методов контроля СУС КФА.

Экспериментальным исследованиям подвергались СУС с датчиком приращения угла и исполнительным механизмом с частотно-токовым управлением.

Для комплексных исследований СУС создан контрольно-

проверочный стенд, позволяющий проводить проверку и отладку микропроцессорных модулей, блока управления, а также оценивать точность стабилизации скорости, а следовательно, опосредованно, и качество снимка, время переходных процессов как при разгоне, так и при торможении, время переходного процесса в СУС ДЗ при изменении скорости. Отметим, что разработка методики определения отклонения мгновенной скорости и созданный стенд позволяют расчетно-экспериментальным образом оценить качество снимка, не соорудая дорогостоящего оборудования, что особенно важно в настоящее время.

Контрольно-проверочный стенд позволяет в диалоговом режиме, используя монитор ПК:

- задавать режим контроля СУС, тип контроля рулевых параметров и количество контрольных оборотов вала двигателя;
- принимать массивы информации с контролируемыми параметрами от микропроцессорных контроллеров СУС;
- обрабатывать принятые массивы для определения средней и мгновенной скорости и отклонения мгновенной скорости от заданной, определять время переходного процесса;
- выводить результаты обработки на экран монитора ПК или на принтер.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В диссертационной работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, относящихся к проблеме создания высокоточных систем управления пленкопротяжными трактами космических кадровых фотоаппаратов.

По мнению автора, основные новые научные результаты, полученные в диссертации, можно сформулировать следующим образом:

1. Определены обобщенные принципы функционального и аппаратного построения прецизионных систем управления скоростью. Высокоточные системы управления скоростью реализуются по типу позиционной следящей системы, где расчетный угол поворота вала задается в виде последовательности импульсов, частота поступления которых определяется в соответствии с цифровым кодом требуемой скорости, принятым от системы управления верхнего уровня. В качестве датчика обратной связи используется индукционный многозубцовый датчик приращения угла, устанавливаемый на валу исполнительного двигателя. Информация, поступающая с датчика приращения угла, используется для определения фазового рассогласования с импульсами задающей последовательности, т.е.

величины углового рассогласования позиционной следящей системы и величины отклонения фактической скорости от заданной. Эта же информация используется для оперативного автоматического контроля качества поддержания заданной скорости.

2. Исследованы особенности динамики прецизионных систем, управляемых по току и по напряжению исполнительного двигателя, показаны преимущества систем с токовым управлением.

3. Определены основные факторы, дестабилизирующие систему управления скоростью. К ним относятся переменные составляющие возмущающих моментов, действующих на вал двигателя, и инструментальные погрешности датчика обратной связи.

4. Сформулированы требования к основным элементам СУС с позиции оценки ее качества.

5. Установлена взаимосвязь между точностью поддержания скорости и качеством фотоснимка. Показано, что величина смещения изображения в процессе съемки, вызывающая появление "смаза" на фотоснимке, зависит не только от амплитуды отклонений скорости, но и от частоты ее колебаний. Получены выражения для действующего значения отклонений скорости, характеризующего фактическую величину "смаза" изображения с учетом характера изменения скорости. Определены показатели для оценки качества работы СУС в процессе оперативного контроля. Разработаны алгоритмы вычисления указанных показателей и обоснована правомерность их использования.

6. Разработаны новые исполнительные, информационные и преобразующие элементы СУС, позволяющие обеспечить выполнение требований к пленкопротяжным трактам современных и перспективных КФА.

7. Созданы программы моделирования работы прецизионной СУС, учитывающие особенности структурного построения и позволяющие вести отработку элементов ее алгоритмического и программного обеспечения.

8. Разработаны и теоретически обоснованы методы синтеза СУС, что дало методологическую основу для практического создания систем управления пленкопротяжным трактом КФА, в том числе на таких этапах, как анализ исходных данных, выбор структуры, определение количественных значений параметров управления, теоретическая проверка ожидаемых характеристик, экспериментальная проверка параметров основных элементов системы и ее контрольные испытания.

На основе полученных в диссертации новых научных результатов можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Совокупность требований, предъявляемых к высокоточным системам управления скоростью, в наибольшей степени отвечают системы с управлением по угловому отклонению, в которых входной угол задается в виде последовательности импульсов с постоянной частотой следования, а сигнал обратной связи снимается с датчика приращения угла на валу двигателя;

2. При управлении исполнительным двигателем по току уменьшается влияние индуктивности силовых цепей и достигается более высокое быстродействие, чем при управлении напряжением. При токовом управлении обеспечивается естественное ограничение токов в пусковом и переходных режимах, что положительно сказывается на работе источников питания и управляющих электронных элементов;

3. При оценке точности систем управления скоростью в пленкопротяжных приводах космических кадровых фотоаппаратов необходимо учитывать зависимость качества процесса фотографирования как от величины отклонения скорости, так и от характера её изменения;

4. В системах управления дисковых затворов, обладающих большими моментами инерции, для повышения быстродействия целесообразно использовать в качестве исполнительного элемента синхронную электрическую машину встраиваемого исполнения;

5. Разработанные методы синтеза позволяют провести проектирование систем управления скоростью пленкопротяжных приводов космических кадровых фотоаппаратов с учетом всей совокупности предъявляемых к ним требований и накладываемых ограничений.

Результаты настоящей работы использованы в ЦНИИ АГ и предприятиях-соисполнителях в процессе создания разрабатывавшихся под руководством и при непосредственном участии автора систем управления скоростью для космических фотоаппаратов различного назначения.

Содержание диссертации отражено в 15 научных работах.

Основные из них:

1. Зимин А.В. Влияние выбора структуры усилителя мощности на точностные показатели приводов пленкопротяжного тракта //ВОТ. Сер.9 - Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. - 1996. - Вып.3(216) – 4(217). - С.26-28.

2. Зимин А.В. Влияние погрешностей датчика обратной связи на точность стабилизации скорости пленкопротяжных механизмов //ВОТ. Сер.9 - Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. - 1997. – Вып.2(219) – 3(220). - С.35-38.

3. Бродовский В.Н., Зимин А.В. Синхронные регулируемые при-

воды широкого применения //Приводная техника. - 1997. - №1. – С.28-29.

4. Горбачев Е.Д., Зимин А.В. Системы управления скоростью. Часть 1. Тахометрические системы: Учебное пособие. – М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1997. - 39 с.

5. Зимин А.В. Оценка качества работы систем регулирования скорости механизмов космических фотоаппаратов //ВОТ. Сер.9 - Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. - 1997. – Вып.2(219) – 3(220). – С.38-40.

6. Зимин А.В. Комбинированная система стабилизации рабочего положения аэрофотоаппарата //ВОТ. Сер.9 - Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. - 1997. – Вып.2(219) – 3(220). – С.33-34.