

На правах рукописи

БАЛАШОВ Олег Евгеньевич

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ БОРТОВЫХ
ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ**

Специальность 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка
информации (технические системы)»

Балашов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Рязань – 2006

Работа выполнена в ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Алпатов Борис Алексеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Витязев Владимир Викторович

кандидат технических наук
Пресняков Александр Николаевич

Ведущая организация: ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем», г. Москва

Защита состоится « 17 » ноября 2006 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д212.211.01 в ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу:

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1, ауд. 235.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУВПО «Рязанского государственного радиотехнического университета».

Автореферат разослан « 6 » октября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

к.т.н., доцент



Пржегорлинский В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Одной из характерных черт современности является интенсивное применение новейших научных разработок при создании сложных информационно-управляющих комплексов. Безусловно, эта тенденция присутствует и при разработке алгоритмов управления приводами бортовых оптико-механических систем, решающих задачу автоматического сопровождения объектов по данным видеонаблюдений. При этом возникают новые возможности формирования управления приводами бортовых оптико-механических систем автосопровождения, ведущие к улучшению точностных характеристик систем видеосопровождения объектов.

Наиболее широкое распространение системы видеосопровождения получили при решении таких задач как навигация, круглосуточное пилотирование летательных аппаратов, поиск, обнаружение и сопровождение наземных, надводных, воздушных подвижных и неподвижных объектов, оценка состояния техногенных объектов, мониторинг дорожной обстановки и массовых мероприятий.

Одним из направлений при создании высокоточных систем видеосопровождения является разработка моделей и эффективных алгоритмов управления приводами бортовых комплексов оптико-механических систем, предназначенных для установки на воздушном, надводном и наземном транспорте. Одной из основных задач систем видеосопровождения является непрерывное совмещение оптической оси оптико-электронного прибора (видеодатчика), установленного на опорно-поворотной платформе (в карданном подвесе) оптико-механической системы, с направлением на объект, наблюдаемый на формируемом видеодатчиком изображении. Характерной чертой систем видеосопровождения, устанавливаемых на подвижном носителе, является необходимость обеспечения высокой точности сопровождения объектов в автоматическом режиме в условиях больших угловых скоростей и ускорений изменения направления на объект.

Наиболее значимыми факторами, влияющими на точность автоматического сопровождения объекта, помимо алгоритма управления приводами кардана, являются частота формирования видеокадров, величина запаздывания в контуре управления, угловая скорость и ускорение изменения направления на объект, длительность возможного пропадания информации о положении объекта на изображении.

В системах видеосопровождения объектов используются различные способы повышения точности. В частности, применяются управляемые гиросtabilизированные платформы для уменьшения влияния качки носителя, корректирующие звенья, статистическое прогнозирование в случае кратковременного пропадания информации о положении объекта на изображении. Вместе с тем, проблема повышения точности автосопровождения в условиях высокой динамики изменения углового направления на объект и при использовании специальных вычислительных средств для обработки

изображений и формирования управления приводами опорно-поворотной платформы до сих пор остается актуальной.

Таким образом, существует практическая задача повышения точности сопровождения объектов посредством разработки эффективных алгоритмов управления приводами бортовых оптико-механических систем автосопровождения объектов.

Степень разработанности темы.

Вопросам повышения точности систем видеосопровождения объектов уделено значительное внимание в отечественных и зарубежных источниках. Существенный вклад в разработку алгоритмов управления приводами оптико-механических систем внесли такие ученые как Бесекерский В.А., Ривкин С.С., Чемоданов Б.К., Гурецкий Х. и др. Однако, несмотря на большое количество работ по данной тематике, в результате проведенного анализа не выявлено публикаций, содержащих в полной мере анализ и решение задачи повышения точности сопровождения в условиях высоких угловых скоростей и ускорений изменения направления на объект, значительного запаздывания в контуре управления и недостаточной для ряда случаев стандартной частоты формирования видеоизображений.

Цель диссертационной работы заключается в разработке моделей и алгоритмов управления приводами оптико-механической системы, позволяющих повысить точность сопровождения в условиях высокой динамики изменения углового направления на объект, в том числе и при кратковременном пропадании информации о положении объекта на изображении. Для достижения поставленной цели требуется решение следующих **основных задач**:

- разработка математических моделей, определяющих связь координат объекта на изображении с требуемыми углами поворота рамок кардана для совмещения оптической оси видеодатчика с направлением на объект;
- разработка алгоритмов управления приводами двух- и трехосных карданов оптико-механических систем, позволяющих повысить точность сопровождения объектов в условиях высокой динамики изменения углового направления на объект;
- разработка алгоритмов формирования управления приводами систем видеосопровождения при кратковременном пропадании информации о положении объекта на изображении;
- разработка эффективных структур систем видеосопровождения;
- исследование разработанных моделей и алгоритмов.

Методы исследования.

Теоретические исследования в настоящей работе выполнены на основе методов теории автоматического управления, теории вероятностей, статистического прогнозирования, планетарной геометрии и тригонометрии.

Имитационное моделирование выполнялось с использованием пакетов Simulink, Signal Processing Blockset, Virtual Reality Toolbox и Video and Image Processing Blockset системы MATLAB, а также пакета 3ds max.

Экспериментальные исследования выполнялись с использованием промышленного образца опорно-поворотной платформы.

Научная новизна.

Задача автосопровождения объекта по данным видеонаблюдений решена с учетом таких факторов как частота формирования видеокадров, запаздывание в контуре управления, качка носителя, кратковременное пропадание информации о положении объекта на изображении. Результаты разработки моделей и алгоритмов управления приводами системы видеосопровождения содержат следующие элементы научной новизны:

- математические модели, определяющие связь координат объекта на изображении с требуемыми углами поворота рамок кардана, для совмещения оптической оси видеодатчика с направлением на сопровождаемый объект;

- алгоритм управления приводами оптико-механической системы автосопровождения объектов с двухосным карданным подвесом, осуществляющий компенсацию запаздывания и повышение частоты дискретизации управляющих воздействий в контурах отработки требуемых углов поворота рамок кардана в условиях отсутствия или наличия информации о качке носителя;

- алгоритм управления приводами системы видеосопровождения с трехосным карданным подвесом, осуществляющий при наличии информации о качке носителя стабилизацию изображения, компенсацию запаздывания и расширение полосы пропускания контуров отработки требуемых углов поворота рамок кардана;

- алгоритм управления приводами оптико-механической системы при кратковременном пропадании информации о положении объекта на изображении.

Эффективность разработанных алгоритмов получила экспериментальное подтверждение.

Практическая ценность.

Работа направлена на решение задач, имеющих непосредственное практическое значение. Использование разработанных моделей и алгоритмов формирования управления приводами оптико-механической системы позволяет значительно повысить точность сопровождения объекта при высокой динамике изменения направления на объект. В частности при изменении углового направления со скоростью до 10 угл. град./с и ускорением до 100 угл. град./с², частоте формирования видеокадров 25 Гц, запаздывании 0,01 с в контуре управления ошибка сопровождения при применении разработанных алгоритмов как минимум в 4 раза меньше по сравнению со стандартным одноконтурным вариантом построения системы видеосопровождения.

Разработанные модели и алгоритмы управления приводами кардана могут использоваться для построения систем наблюдения, систем видеосопровождения при высокой динамике изменения направления на объект, значительном запаздывании в контуре управления, невысокой частоте формирования видеокадров.

Достоверность.

Достоверность результатов и выводов диссертации подтверждается корректным использованием математического аппарата, результатами моделирования и экспериментальными исследованиями.

Реализация и внедрение.

Полученные теоретические и практические результаты использованы при проведении научно-исследовательских работ, проводимых в ГОУВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по заказам Федерального агентства по образованию (НИР 6-03Г, 26-03Г) и ФГУП «Государственный рязанский приборный завод» (НИР 1-03, 1-04, 44-04, 7-05), что подтверждается актами внедрения.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих конференциях и семинарах:

- 12-й, 13-й, 14-й международных научно-технических конференциях «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань – 2004, 2005);
- 7-й международной научно-технической конференции «Цифровая обработка сигналов и ее применения» (Москва – 2005);
- научно-практическом семинаре, посвященном 60-летию победы в ВОВ, «Сети и системы связи» (Рязань – 2005);
- 4-й международной конференции «Телевидение: передача и обработка изображений» (Санкт - Петербург – 2005);
- 11-й всероссийской научно-технической конференции «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании» (Рязань – 2006);
- научно-практической конференции «Хранить традиции. Готовить профессионалов. Растить патриотов» (Рязань – 2006);
- 7-й международной научно-технической конференции «Кибернетика и высоки технологии XXI века С&Т*2006» (Воронеж – 2006).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 4 статьи и 9 тезисов докладов. Результаты исследований отражены в 6 отчётах о НИР.

Личный вклад.

Используемые в диссертации математические модели, определяющие связь координат объекта на изображении с требуемыми углами поворота рамок кардана, алгоритмы управления приводами двух- и трехосных карданных подвесов оптико-механических систем при наличии или отсутствии информации о качке носителя, а также кратковременном пропадании информации о положении объекта на изображении разработаны лично диссертантом.

Основные результаты, выносимые на защиту:

- математические модели, определяющие связь координат объекта на изображении с требуемыми углами поворота рамок кардана для совмещения оптической оси видеодатчика с направлением на сопровождаемый объект;
- алгоритм управления приводами оптико-механической системы автосопровождения объектов с двухосным карданным подвесом, осуществляющий компенсацию запаздывания и повышение частоты дискретизации управляющих воздействий в контурах отработки требуемых углов поворота рамок кардана в условиях отсутствия или наличия информации о качке носителя;
- алгоритм управления приводами системы видеосопровождения с трехосным карданным подвесом, осуществляющий при наличии информации о качке носителя стабилизацию изображения, компенсацию запаздывания и расширение полосы пропускания контуров отработки требуемых углов поворота рамок кардана;
- алгоритм управления приводами оптико-механической системы при кратковременном пропадании информации о положении объекта на изображении.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (80 источников), приложения, изложенных на 168 страницах, содержит 60 рисунков и 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность задачи повышения точности автоматического сопровождения объектов оптико-механическими системами по данным видеонаблюдений, сформулированы основные задачи и научные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации выполнен анализ известных подходов к построению оптико-механических систем сопровождения объектов. Выявлены имеющиеся недостатки и сформулированы задачи диссертации.

Система видеосопровождения (СВС), размещенная на некотором носителе (вертолет, корабль, наземный транспорт и т.д.), по изображениям, формируемым видеодатчиком (ВД), решает задачу высокоточного автосопровождения некоторого объекта. В поле зрения ВД находится фон и сопровождаемый объект. Фоном может являться небо, земная и водная поверхность, городской ландшафт и т. д. Объектами обычно являются движущиеся или неподвижные машины, суда, летательные аппараты, наземные сооружения, находящиеся на расстоянии до нескольких километров. СВС, как правило, содержит вычислительное устройство (ВУ), решающее задачу обнаружения и определения координат объекта на изображении и формирующее управление приводами кардана (рисунок 1). В состав СВС также входит ВД, закрепленный в карданном подвесе, датчики угловых положений рамок кардана относительно осей вращения. При установке СВС на подвижном

носителе предусматривается поступление информации о текущих значениях углов качки носителя (крена, тангажа или дифферента, рыскания).



Рисунок 1 – Функциональная схема СВС

Задача СВС состоит в постоянном совмещении оптической оси ВД с направлением на объект по данным блока обнаружения и определения координат (БООК). Характерной чертой бортовых оптико-механических систем является необходимость обеспечения высокой точности сопровождения объектов (до нескольких угловых минут) в автоматическом режиме в условиях больших угловых скоростей и ускорений изменения направления на объект (соответственно до десятков угловых градусов в секунду и сотен угловых градусов в секунду в квадрате). Основными факторами, влияющими на величину ошибки сопровождения, являются угловая скорость и ускорение изменения направления на объект, малая величина стандартной частоты формирования видеокadres, ошибки вычисления координат объекта из-за пиксельного (дискретного) характера представления изображения, величина запаздывания, вносимого БООК.

В диссертации рассмотрение вопросов управления приводами карданных подвесов СВС осуществляется с ориентацией на конкретные исходные данные, что, в общем случае, не сужает рамки применимости разработанных моделей и алгоритмов.

Вторая глава посвящена разработке математических моделей, определяющих связь координат объекта на изображении с требуемыми углами поворота рамок кардана для совмещения оптической оси ВД с направлением на объект и имитации информации о положении объекта на изображении в видеопоследовательности. Разрабатываются алгоритмы управления приводами СВС с двухосным карданным подвесом при отсутствии информации о качке.

Для непрерывного во времени совмещения оптической оси ВД с направлением на объект в принципе достаточно использовать двухосный карданный подвес, управление которым осуществляется с помощью двух приводов (рисунок 2, а). Один из приводов изменяет угол поворота θ внешней рамки кардана относительно носителя, а другой – угол φ положения внутренней рамки с закрепленным на ней ВД относительно внешней рамки. Направление оптической оси ВД перпендикулярно оси вращения внутренней рамки. На изображении, формируемом ВД, объект (центр изображения объекта) представлен точкой P (рисунок 2, б).

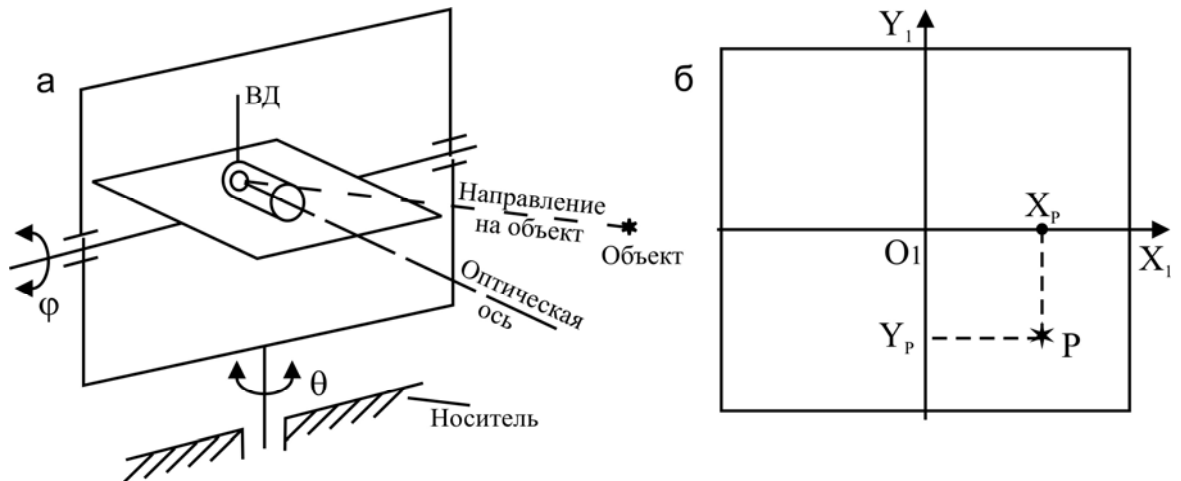


Рисунок 2 – Двухосная карданная система и изображение, формируемое ВД

СВС вычисляет координаты центра изображения объекта X_p и Y_p в плоскости изображения каждого кадра (измерительная система координат $O_1X_1Y_1$). Точка O_1 является проекцией оптической оси ВД на плоскость изображения. Считается известным угловое поле зрения ВД и размер изображения. Необходимо по вычисленным значениям X_p , Y_p и показаниям датчиков углов поворотов рамок кардана θ и φ на момент получения видеокadra определить требуемые угловые положения рамок θ_p и φ_p , при которых оптическая ось совпала бы с направлением на объект. При этом приращения $\Delta\theta = \theta_p - \theta$ и $\Delta\varphi = \varphi_p - \varphi$ будут представлять рассогласование, а θ_p и φ_p в некоторой принятой системе отсчета (системе координат, привязанной к строительным осям носителя СВС) можно рассматривать как заданные значения углов поворота рамок кардана.

Примем в качестве модели изображения (рисунок 3), формируемого ВД с полем зрения $(2\theta_d \times 2\varphi_d)$, изображение размером $2X_d \times 2Y_d$, получающееся на чувствительной прямоугольной пластине $ABCD$, перпендикулярной оптической оси ВД OO_1 и расположенной на расстоянии R от точки O (центра оптической оси). Построение модели изображения осуществляется при условии, что любая произвольная точка пластины воспринимает только световой поток луча, проходящего через данную точку и центр O оптической оси. Указанная модель изображения в некотором масштабе, зависящем от величины R и фокусного расстояния линзы, будет повторять изображение, формируемое ВД. Точка O_1 этого изображения является проекцией оптической оси. $OUVW$ – система координат (СК), привязанная к ВД, $O_1X_1Y_1$ – измерительная СК. Точка P соответствует центру сопровождаемого объекта.

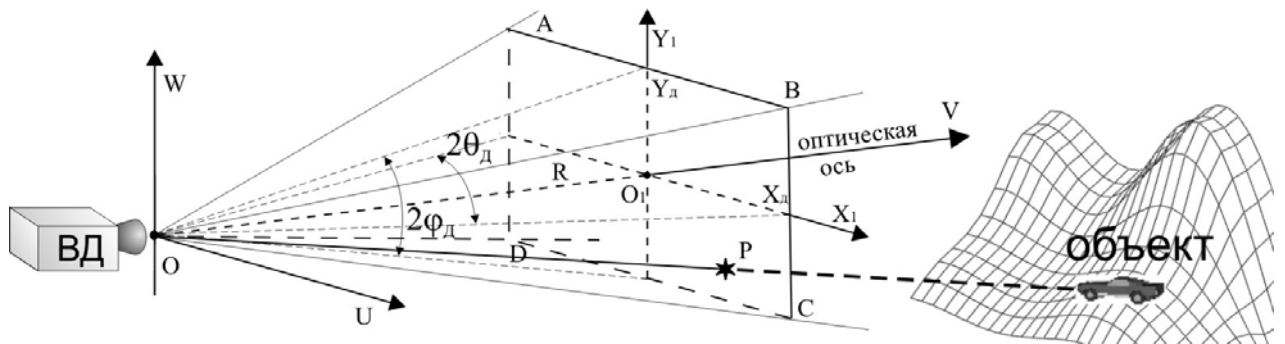


Рисунок 3 – Формирование модели изображения

Для разработки моделей связи координат объекта на изображении с требуемыми углами поворота рамок кардана с учетом принятой модели формирования изображения рассмотрена следующая геометрическая иллюстрация (рисунок 4). Точка O – точка пересечения осей вращения кардана. $O_1X_1Y_1$ – плоскость модели изображения. Точка O_1 – центр модели изображения, который всегда находится на поверхности шара радиуса R . Положение точки O_1 однозначно определяется углами поворота рамок кардана θ и φ относительно принятых начал отсчета.

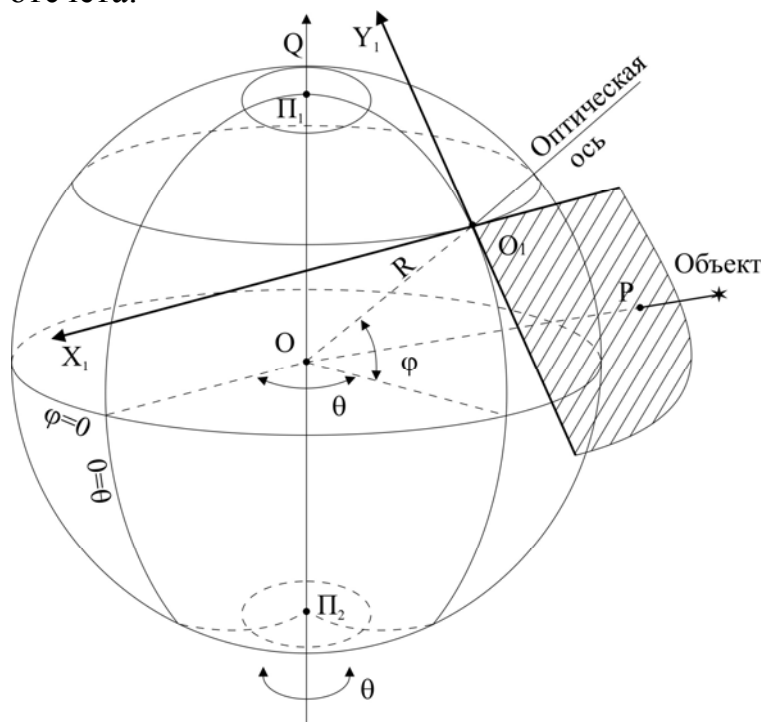


Рисунок 4 – Геометрическая иллюстрация

Рассмотрение данной геометрической иллюстрации позволило вывести соотношения (1)-(4). При этом выражения (1), (2) определяют требуемые углы поворота рамок кардана при известном положении объекта на изображении (прямая задача). Выражения (3), (4) дают решение обратной задачи, позволяющей по заданным углам положения объекта в СК носителя и известным текущим значениям углов поворота рамок кардана определить координаты объекта в текущем кадре. Указанные соотношения имеют вид:

$$\Delta\theta = \arctan \frac{-N_{XP}K_X}{\cos\varphi - N_{YP}K_Y \sin\varphi}; \Delta\theta = \theta_P - \theta. \quad (1)$$

$$\varphi_P = \arcsin \frac{\sin \varphi + N_{YP} K_Y \cos \varphi}{\sqrt{1 + (N_{XP} K_X)^2 + (N_{YP} K_Y)^2}}; \Delta \varphi = \varphi_P - \varphi. \quad (2)$$

$$N_{YP} = \frac{1}{K_Y} \frac{\cos \varphi \sin \varphi_P - \sin \varphi \cos \varphi_P \cos \Delta \theta}{\sin \varphi \sin \varphi_P + \cos \varphi \cos \varphi_P \cos \Delta \theta}; \quad (3)$$

$$N_{XP} = \frac{1}{K_X} (K_Y N_{YP} \sin \varphi - \cos \varphi) \tan \Delta \theta, \quad (4)$$

где N_{XP} , N_{YP} – координаты объекта на изображении в пикселях, θ , φ – текущие угловые координаты оптической оси, θ_P , φ_P – требуемые углы поворота рамок кардана, $K_X = \tan \theta_D / N_{XD}$, $K_Y = \tan \varphi_D / N_{YD}$ – коэффициенты пересчета.

Из выражений (1)-(4) вытекает, что для реализации управления приводами можно использовать рассогласования $\Delta \varphi$, $\Delta \theta$ или абсолютные значения φ , θ , определяющие требуемые положения рамок кардана. Таким образом, имеется возможность двух вариантов построения СВС (рисунки 5, 6).

Первый вариант построения СВС с использованием рассогласований, вычисленных по (1), (2), содержит блок БООК, вычисляющий оценки координат объекта на изображении и вносящий запаздывание τ в контур управления. Функциональный преобразователь F_1 вычисляет рассогласование оптической оси с требуемым направлением. Цифровые регуляторы (ЦР) реализуют требуемые законы управления в каждом канале отработки рассогласований $\Delta \tilde{\theta}$ и $\Delta \tilde{\varphi}$. При моделировании СВС в качестве ЦР используется ПИ-регулятор, выбор которого объясняется простотой настройки на практике параметров регулятора и обеспечением отработки линейно меняющегося во времени углового положения объекта с нулевой установившейся ошибкой в контуре слежения. Цифроаналоговые преобразователи (ЦАП) вырабатывают управляющие напряжения на соответствующие приводы. Привод скорости (ПС) осуществляет поворот рамок кардана, блок со знаком интеграла описывает связь углов поворота рамок кардана с соответствующими угловыми скоростями вращения. ВД, представленный формально в виде функционального преобразователя F_2 , преобразует угловые координаты направления на объект φ_P , θ_P и оптической оси φ , θ в координаты N_{XP} , N_{YP} центра объекта на изображении.

Моделирование работы СВС осуществлялось при конкретных параметрах оптико-механических систем, требуемое изменение направления на объект задавалось эквивалентным гармоническим сигналом, скорость изменения которого достигает 10 угл. град./с, а ускорение 100 угл. град./с². Исследования первого варианта построения СВС показали, что даже при допустимом перерегулировании 50 % невозможно получить ошибку сопровождения менее 0,24 угл. градуса, что иллюстрируется на рисунке 7 (кривая 1).

Во 2 варианте построения СВС для отработки требуемых углов поворота рамок кардана вводится обратная связь от датчика угла азимута и блоки

прогнозирования (БП), осуществляющие прогнозирование межкадровых координат объекта по методу МНК с учетом запаздывания. При этом контуры отработки (следящие приводы $СП_\theta$, $СП_\varphi$) требуемых углов поворота работают на повышенной частоте. Остальные функциональные узлы такие же, как и в варианте 1. Минимальная амплитуда ошибки сопровождения в данном случае составляет 0,066 градуса (рисунок 7, кривая 2).

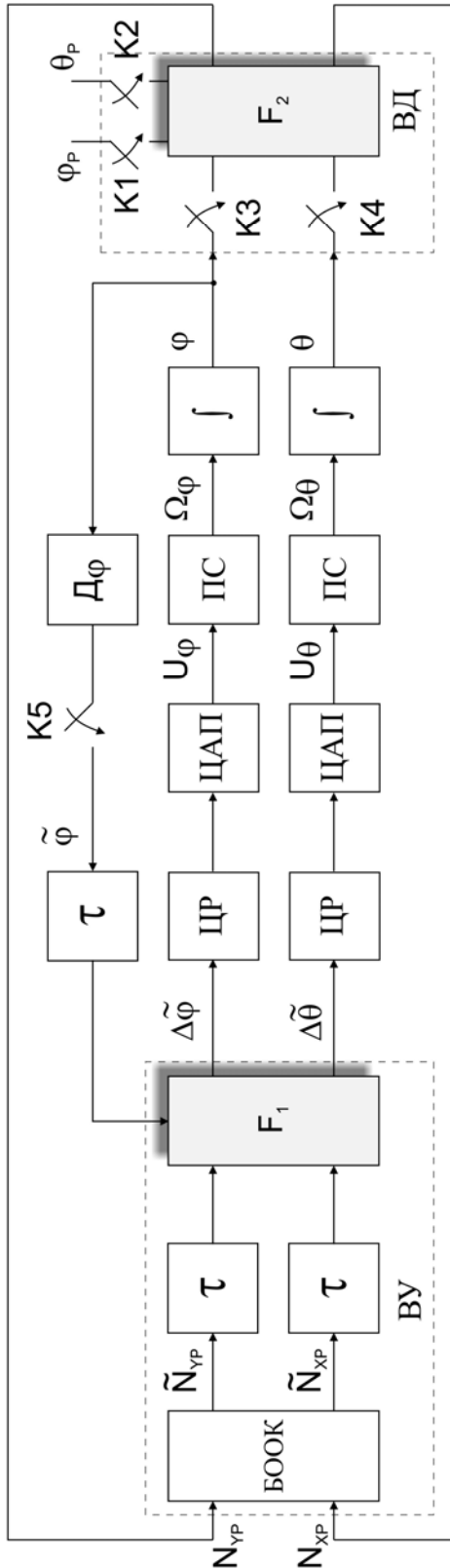


Рисунок 5 – Функциональная схема реализации СВС по первому варианту

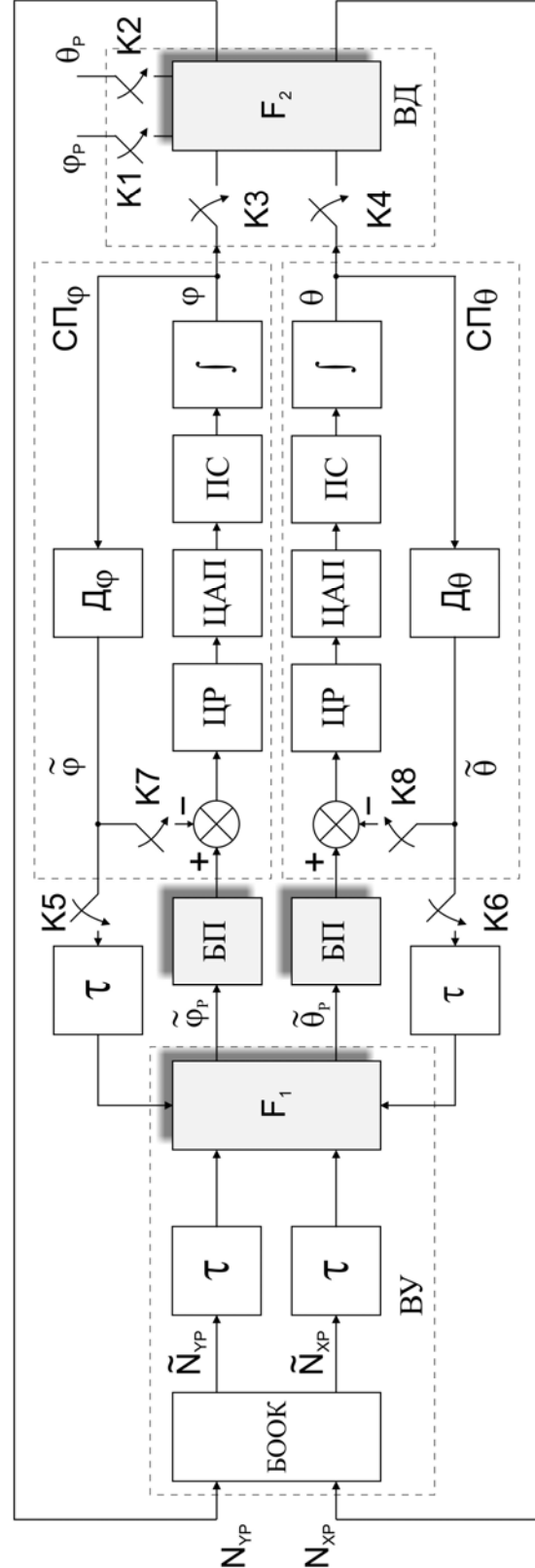


Рисунок 6 – Функциональная схема реализации СВС по второму варианту

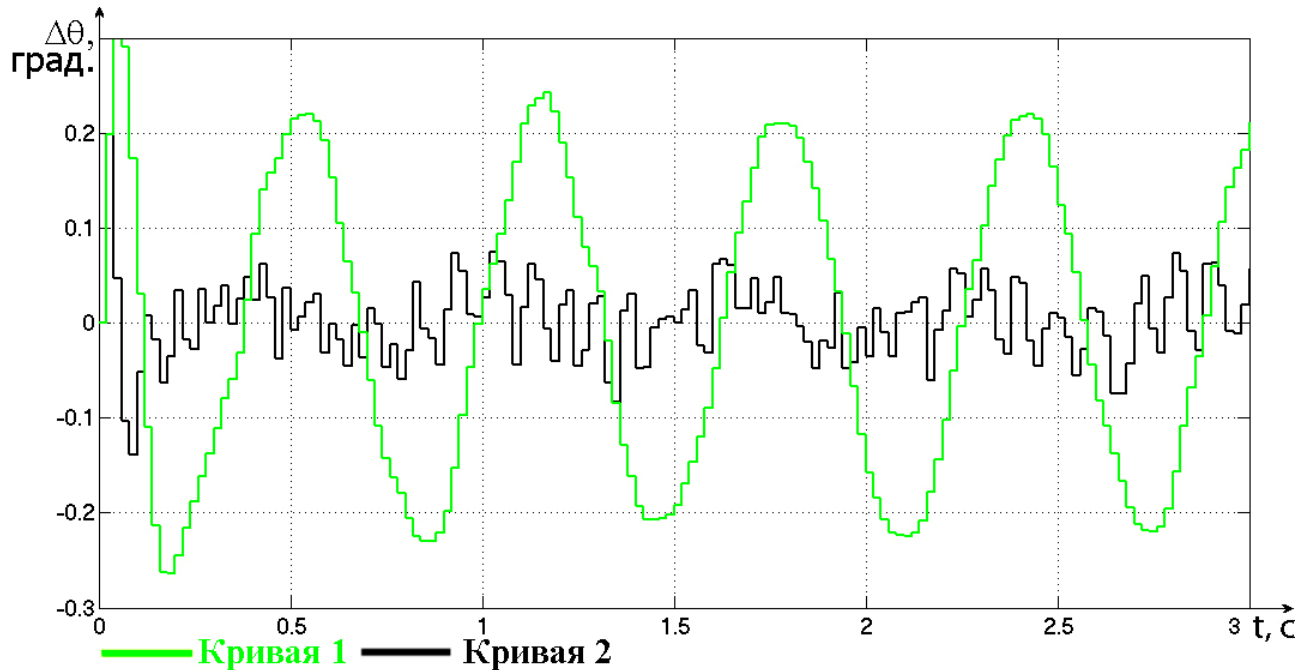


Рисунок 7 – Ошибки сопровождения СВС

Без учета ошибок вычисления координат объекта ошибки сопровождения для 1 и 2 варианта построения СВС соответственно равны 0,22 и 0,02 градуса. Проведено исследование зависимости ошибки сопровождения объектов от частоты дискретизации задающих воздействий СП, ошибок дискретизации датчиков углов, ошибок вычисления координат объекта, вызванных дискретным характером представления изображения. Ошибка сопровождения при использовании 2 варианта СВС меньше по сравнению с 1 вариантом за счет того, что компенсация запаздывания и увеличение частоты дискретизации задающих воздействий СП при помощи БП позволяет расширить полосу пропускания контуров обработки требуемых углов поворота рамок кардана и уменьшить динамическую составляющую ошибки. Таким образом, можно говорить о предпочтительности использования 2 варианта построения СВС.

В третьей главе разрабатываются модели и алгоритмы управления приводами СВС с учетом углов качки носителя.

СВС часто устанавливаются на подвижных носителях, совершающих вращательные движения, которые могут быть вызваны маневрами, качкой или вибрацией с частотой до 10 Гц. Это приводит к большим угловым скоростям и ускорениям изменения направления на объект. Кроме этого качка носителя приводит к вращению ВД вокруг оптической оси и повороту изображения фоновой обстановки в последовательности видеокадров.

Использование трехосного карданного подвеса в СВС при наличии высокоточной информации о текущих углах качки дает возможность практически исключить указанные вращения. Это позволяет повысить точность вычисления координат объекта на изображении, значительно упростить алгоритмы, используемые в БООК, и соответственно уменьшить запаздывание в выдаче координат в контур управления, что улучшает точность сопровождения.

На рисунке 8 показан возможный вариант построения применяемого в СВС трехосного карданного подвеса с изображением соответствующих СК.

Управление ориентацией оптической оси ВД осуществляется путем изменения текущих углов поворота θ , ψ , φ рамок кардана.

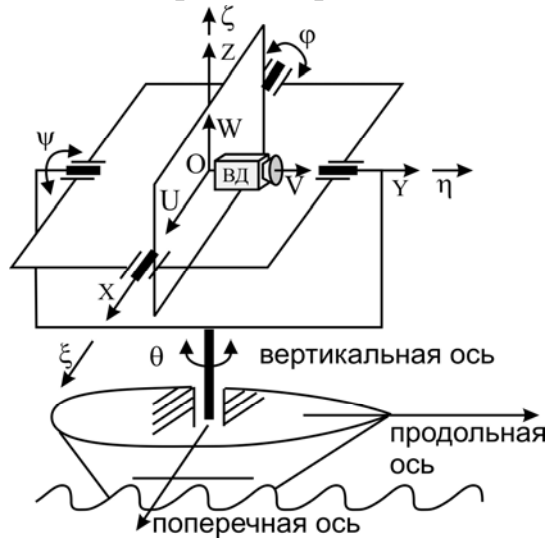


Рисунок 8 –Трехосный карданный подвес, применяемый в СВС

На рисунке 8 показаны три СК. Первая – $O\xi\eta\zeta$ привязана к центру тяжести носителя и неподвижно ориентирована относительно поверхности Земли так, чтобы плоскость $O\xi\eta$ была параллельна плоскости горизонта, а ось $O\zeta$ образовала правую СК с осями $O\xi$ и $O\eta$. Оси СК $OXYZ$ совпадают со строительными осями носителя, а ее положение относительно $O\xi\eta\zeta$ определяется углами качки (α - угол рысканья, β - тангажа, γ - крена). СК $OUVW$ жестко связана с ВД, закрепленным на внутренней рамке кардана, при этом направление оптической оси совпадает с осью OV . Оси OU и OW параллельны соответственно осям O_1X_1 и O_1Y_1 измерительной СК. При отсутствии качки носителя и равенстве нулю углов поворота рамок кардана (θ - угол азимута, φ - места, ψ - крена) все указанные СК совпадают.

Для вычисления требуемых углов поворота рамок кардана вводится СК $OU_TV_TW_T$, определяющая требуемое положение ВД относительно неподвижно ориентированной СК, так чтобы ось OV_T совпадала с направлением на объект, а ось OU_T постоянно оставалась в плоскости $O\xi\eta$, обеспечивая этим стабилизацию изображения. Положение $OU_TV_TW_T$ относительно неподвижно ориентированной СК описывается квадратной матрицей A направляющих косинусов. В трехмерном декартовом пространстве $O\xi\eta\zeta$ при условии, что ось OU_T остается в плоскости $O\xi\eta$ матрица A зависит от двух углов поворота θ_T , φ_T , определяющих положение СК $OU_TV_TW_T$ относительно $O\xi\eta\zeta$. Координаты объекта в СК $O\xi\eta\zeta$ определяются через координаты в $OXYZ$ посредством матрицы направляющих косинусов $B^{-1}(\alpha, \beta, \gamma)$, переводящей базисные вектора из СК $OXYZ$ в $O\xi\eta\zeta$.

Задача управления приводами кардана заключается в поворотах его рамок на углы $\tilde{\theta}$, $\tilde{\varphi}$, $\tilde{\psi}$, при которых СК $OUVW$ совпадет с требуемой ориентацией

ВД, определяемой $OU_TV_TW_T$. Для этого необходимо, чтобы матрицы перевода координат $C(\theta_T, \varphi_T, \alpha, \beta, \gamma)$ из СК $OXYZ$ в $OU_TV_TW_T$ и $D(\tilde{\theta}, \tilde{\psi}, \tilde{\varphi})$ из $OXYZ$ в $OUVW$ были равны. С учетом сказанного требуемые углы поворота рамок кардана определяются как решение матричного уравнения

$$D(\tilde{\theta}, \tilde{\psi}, \tilde{\varphi}) = C(\theta_T, \varphi_T, \alpha, \beta, \gamma) = A(\theta_T, \varphi_T)B^{-1}(\alpha, \beta, \gamma). \quad (5)$$

При следующих ограничениях на углы качки

$$\begin{cases} \alpha \in [-\pi/2, \pi/2]; \\ \beta \in [-\pi/2 + \varphi_P, \pi/2 - \varphi_P]; \\ \gamma \in [-\pi/2, \pi/2], \end{cases} \quad (6)$$

решение матричного уравнения (5) имеет вид

$$\begin{cases} \tilde{\psi} = \arcsin(-c_{1,3}); \\ \tilde{\varphi} = \arcsin(c_{2,3}/\cos\tilde{\psi}); \\ \tilde{\theta} = \arcsin(c_{1,2}/\cos\tilde{\psi}), \quad \text{если } (c_{1,1}/\cos\tilde{\psi}) \geq 0; \\ \tilde{\theta} = \pi \operatorname{sign}(c_{1,2}/\cos\tilde{\psi}) - \arcsin(c_{1,2}/\cos\tilde{\psi}), \quad \text{если } (c_{1,1}/\cos\tilde{\psi}) < 0, \end{cases} \quad (7)$$

где $c_{i,j}$ – элементы матрицы $C(\theta_T, \varphi_T, \alpha, \beta, \gamma)$.

При использовании двухосного карданного подвеса в СВС требуемые углы поворота вычисляются по соотношению (7), при этом угол крена необходимо принять равным нулю градусов ($\psi = 0$), так как в двухосном кардане отсутствует рамка обкатки по крену.

При автоматическом сопровождении угловые координаты объекта в неподвижно ориентированной СК вычисляются по следующим выражениям

$$\begin{aligned} \theta_T &= \arctan(-\xi_1/\eta_1); \\ \varphi_T &= \arctan(\zeta_1/\sqrt{\xi_1^2 + \eta_1^2}), \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} [\xi_1 \quad \eta_1 \quad \zeta_1]^T &= B^{-1}(\alpha, \beta, \gamma)D^{-1}(\theta, \varphi, \psi)[U_{P_1} \quad V_{P_1} \quad W_{P_1}]^T. \\ [U_{P_1} \quad V_{P_1} \quad W_{P_1}]^T &= \text{координаты единичного вектора } \overline{OP_1} = \overline{OP}/\|\overline{OP}\|, \end{aligned} \quad (9)$$

совпадающего с направлением на объект, в СК $OUVW$.

Таким образом, алгоритм управления приводами СВС включает выполнение следующих действий:

1. Формирование видеок кадров с периодом дискретизации T_1 в моменты времени $t_l = lT_1$, $l = 0, 1, 2, \dots$;
2. Определение координат вектора $\overline{OP_1}$ по выражению (9);
3. Вычисление угловых координат θ_P , φ_P вектора $\overline{OP_1}$ в неподвижно ориентированной СК $O\xi\eta\zeta$ по выражению (8);
4. Вычисление путем прогнозирования межкадровых координат вектора $\overline{OP_1}$ в СК $O\xi\eta\zeta$ с периодом дискретизации $T = KT_1$, где $K = 2, 3, 4, \dots$;

5. Вычисление требуемых углов поворота рамок кардана в СК носителя в соответствии с системой уравнений (7) при ограничениях (6);

6. Формирование ЦР и ЦАП управляющих сигналов ПС в соответствии с выбранным законом управления.

Уменьшение ошибки сопровождения по сравнению с рассмотренными во второй главе СВС достигается за счет большей точности вычисления межкадровых координат объекта в неподвижно ориентированной СК. Точность вычисления координат повышается за счет стабилизации изображения и лучшей аппроксимации траектории объекта, неискаженной качкой носителя. На рисунке 9 показаны ошибки сопровождения СВС с трехосным карданом (кривая 1) и СВС, реализованной по 2 варианту, (кривая 2). Траектории объекта по азимуту и углу места в СК носителя соответствуют эквивалентному гармоническому сигналу, максимальная скорость изменения которого достигает значения 10 угл. град./с, а максимальное ускорение 100 угл. град./с².

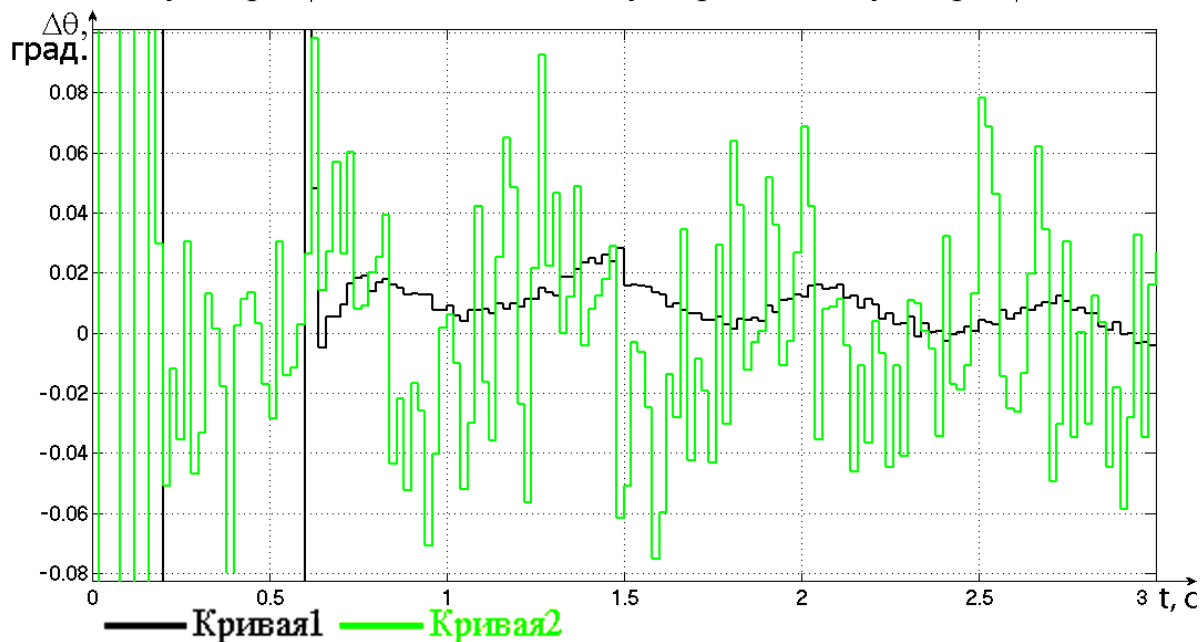


Рисунок 9 – Ошибки сопровождения СВС

В четвертой главе разрабатываются и исследуются алгоритмы управления приводами СВС по прогнозируемым координатам объекта.

При сопровождении объекта по данным видеонаблюдений может пропадать информация о положении объекта на изображении, например, вследствие закрытия объекта фоновыми образованиями. В результате необходимо осуществлять управление приводами кардана при отсутствии информации о текущих координатах объекта, которое может производиться по различным алгоритмам. При появлении информации о положении объекта на изображении производится восстановление автосопровождения. Отсутствие информации об объекте не должно быть длительным, так как с течением времени быстро увеличивается вероятность ложного обнаружения и как следствие ложного захвата. При пропадании информации о положении объекта на изображении наиболее эффективными оказываются алгоритмы, использующие статистическое прогнозирование угловых траекторий.

Алгоритм управления приводами СВС при пропадании информации о положении объекта на изображении состоит из следующих шагов:

- 1) формирование ВД кадров изображений с периодом дискретизации T_1 в моменты времени $t_l = lT_1, l = 0, 1, 2, \dots$;
- 2) обработка текущего изображения, полученного в пункте 1, в БООК с целью обнаружения и вычисления координат сопровождаемого объекта. При не обнаружении объекта вырабатывается сигнал о пропадании;
- 3) в случае обнаружения объекта восстанавливается автосопровождение, при наличии сигнала о пропадании проверяется время отсутствия информации о координатах объекта. Если время превысило заданное значение, то принимается решение о срыве сопровождения, иначе управление приводами кардана оптико-механической системы производится по прогнозируемой траектории объекта, которая вычисляется в БП на основе информации о прошлых известных координатах;
- 4) вычисляются требуемые углы поворота рамок кардана в СК носителя;
- 5) формирование ЦР и ЦАП в соответствии с выбранным законом управления сигналов на приводы СВС для отработки требуемого положения оптической оси ВД, вычисленного в пункте 4.

На рисунке 10 показаны ошибки сопровождения СВС с трехосным карданом (кривая 1) и СВС, реализованной по 2 варианту, (кривая 2) при пропадании информации о положении объекта на изображении, которое моделируется в интервале времени $[4.8, 7.4]$ с. Траектория объекта по углу азимута и места в СК носителя соответствуют эквивалентному гармоническому сигналу, скорость изменения которого достигает значения 10 угл.град./с, а ускорение 100 угл.град./с².

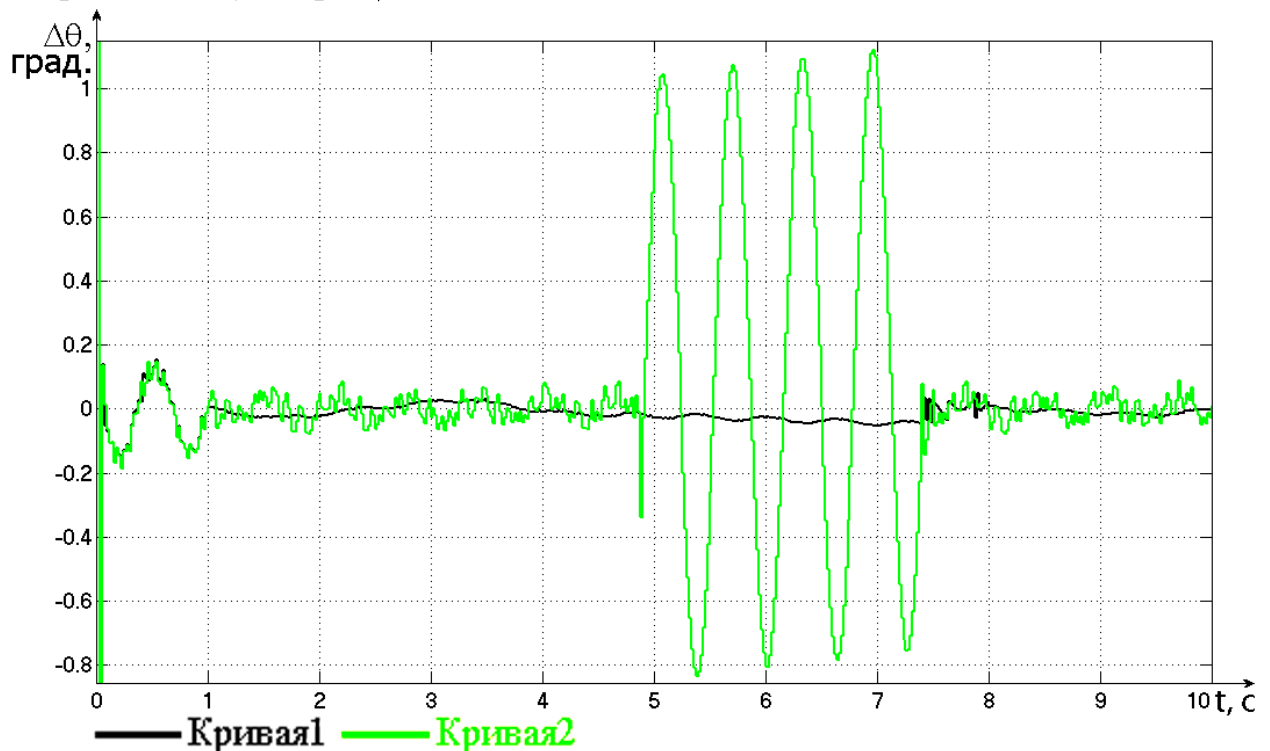


Рисунок 10 – Ошибки сопровождения СВС

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ известных алгоритмов управления приводами СВС. Выявлены основные факторы, влияющие на точность сопровождения.

2. Разработаны математические модели и алгоритмы управления приводами СВС с двухосным карданным подвесом, позволяющие компенсировать запаздывание в контуре управления и повысить частоту дискретизации задающих воздействий следящих приводов отработки требуемых углов поворота рамок кардана при отсутствии и наличии информации об углах качки носителя.

3. Разработаны математические модели и алгоритмы управления приводами СВС с трехосным карданом, учитывающие информацию о качке носителя, позволяющие компенсировать запаздывание в контуре управления, расширить полосу пропускания следящих приводов отработки требуемых углов поворота рамок кардана и стабилизировать изображение.

4. Разработан алгоритм управления приводами двух- и трехосных карданных подвесов СВС при кратковременном пропадании информации о положении объекта на изображении.

5. Проведенное моделирование подтверждает эффективность разработанных алгоритмов управления приводами СВС с двух- и трехосными карданами как при наличии, так и при отсутствии информации о положении объекта на изображении.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Управление приводами гиросtabilизированной платформы в видеокомпьютерной системе сопровождения объектов // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. Вып. 12. - Рязань, 2003. - С. 38-41.

2. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Некоторые вопросы построения видеокомпьютерных следящих систем // Проблемы математического моделирования и обработки информации в научных исследованиях: Сб. науч. тр. - Рязань: РГРТА, 2003. - С. 16-25.

3. Балашов О.Е., Степашкин А.И. Управление приводами видеокомпьютерной системы сопровождения объектов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. Тез. докл. 12-й международной научно-технической конференции. - Рязань, 2004. - С. 66-67.

4. Балашов О.Е., Степашкин А.И. Повышение точности управления приводами видеокомпьютерной системы сопровождения объектов // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. Тез. докл. 13-й международной научно-технической конференции. - Рязань, 2004. - С. 94-95.

5. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Прогнозирование управления приводами в видеокомпьютерной системе сопровождения объектов // Цифровая обработка сигналов и ее применения. Тез. докл. 7-й международной конференции. Том 2. - М.: 2005. - С. 333-336.

6. Балашов О.Е., Степашкин А.И. Повышение точности управления приводами видеокомпьютерной системы сопровождения объектов // Сети и системы связи. Тез. докл. всероссийского научно-практического семинара посвященного 60-летию победы в ВОВ. - Рязань, 2005. - С. 198-201.

7. Балашов О. Е., Кынина И. А. Управление приводами видеокомпьютерной системы сопровождения объектов // Телевидение: передача и обработка изображений. Тез. докл. 4-ой международной конференции. - Санкт-Петербург, 2005. – С. 73-74.

8. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Прогнозирование при формировании управления приводами кардана в системе видеослежения // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. Тез. докл. 14-й международной научно-технической конференции. - Рязань, 2005. – С. 109-110.

9. Балашов О.Е., Степашкин А.И. Информационные технологии при создании и исследовании замкнутых систем видеослежения // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании. Тез. докл. 11-ой всероссийской научно-технической конференции. - Рязань, 2006. – С. 135-136.

10. Алпатов Б.А., Балашов О.Е. Исследование ошибки прогнозирования в системе видеослежения // Хранить традиции. Готовить профессионалов. Растить патриотов. Тез. докл. научно-практическая конференция. - Рязань, 2006. – С. 7-9.

11. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Исследование ошибки сопровождения объектов системой видеосопровождения // Кибернетика и высокие технологии XXI века С&Т*2006. Тез. докл. 7-й международной научно-технической конференции. Том 1. – Воронеж, 2006. – С. 406-410.

12. Алпатов Б.А., Балашов О.Е., Степашкин А.И. Формирование управления приводами трехосного карданного подвеса в системе сопровождения объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49, №5. С. 24–28.

13. Балашов О.Е. Повышение точности сопровождения объектов в системе видеослежения // Вестник Рязанской государственной радиотехнической академии. Вып. 17. - Рязань, 2006. . – С. 45-49.

БАЛАШОВ Олег Евгеньевич

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ БОРТОВЫХ
ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Отпечатано 5.10.2006

Рязань, ООО «Оргтехцентр»

Первомайский проспект, д. 37.

Тираж 100 экз.