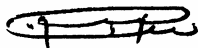


САЛЕК Самер

**ДЕМПФИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЙ
ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИНАМИЧЕСКИМ ГАСИТЕЛЕМ
ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ**

05.11.03 – Приборы навигации

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2005

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Черников Сергей Акимович

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Мезенцев Александр Павлович

Кандидат технических наук
Коновченко Александр Афанасьевич

Ведущая организация: **Московский авиационный институт**
(государственный технический университет)

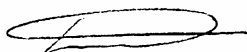
Защита диссертации состоится 23 ноября 2005 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.19 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу:
105005, г. Москва, 2-я Бауманская улица, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана

Автореферат разослан «__» октября 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

доктор технических наук



Бурый Евгений Владленович



Актуальность темы Проблема повышения точности автономных навигационных систем, работающих в условиях повышенной вибрации подвижного объекта, неразрывно связана с проблемой повышения эффективности их виброзащиты. Вместе с тем не защищенными от внешних вибраций, является сами гиросистемы, что приводит к возникновению динамических погрешностей. Совершенствование гиросистем в большой степени зависит от повышения их динамической точности, которая в свою очередь зависит от их демпфирующих свойств.

Проблема демпфирования гиросистем состоит в противоречивости требований высокой статической и динамической точности, с одной стороны, и устойчивости - с другой. При этом увеличение демпфирующих моментов относительно осей карданова подвеса, повышая степень устойчивости гиросистемы (ГС), в то же время ухудшает характеристики её вынужденного движения в диапазоне низких частот. Однако повышение статической и динамической точности в низкочастотном диапазоне путем уменьшения демпфирующих моментов приведёт к ухудшению динамических характеристик на резонансных частотах и уменьшению запасов устойчивости системы.

Существенно облегчить задачу виброзащиты слабо демпфируемых гиросистем и сгладить противоречие между точностью и устойчивостью позволяет способ динамического гашения колебаний.

Большинство работ, посвященных теме применения динамического гасителя колебаний (ДГК) в гиросистеме, ограничено применением традиционного гасителя (гасителя постоянной структуры). Традиционный гаситель при отсутствии вязкости позволяет получить эффект полного гашения колебаний главной массы лишь при одном значении частоты возмущающей гармонической силы, которая совпадает с его парциальной частотой. С целью повышения эффективности ДГК, расширения его рабочего диапазона и получения новых возможностей инерционного демпфирования ГС в работе предложена схема гасителя переменной структуры (ГПС) в зависимости от частоты вибрационного воздействия.

Актуальность и практическая целесообразность работы обусловлена необходимостью решения задачи повышения динамической точности и эффективности виброзащиты ГС, расширения частотной области гашения колебаний, уменьшения габаритно-массовых характеристик ГС с гасителем.

Целью диссертационной работы является исследование ГС с ГПС. Диссертационная работа направлена на существенное улучшение динамических характеристик ГС, улучшение их виброзащиты, расширение

частотной области гашения колебаний, повышение эффективности работы гасителя и уменьшение габаритно-массовых характеристик ГС с гасителем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научно-технические задачи:

- Исследование существующих схем ГС с динамическим гасителем колебаний с целью определения их основных недостатков и преимуществ.
- Разработка математических моделей объекта демпфирования и ГС с гасителем переменной структуры.
- Разработка схемы динамического гасителя гиросистемы для различных режимов работы.
- Разработка алгоритмов синтеза оптимального гашения резонансных колебаний ГС изменением структуры гасителя.
- Создание вычислительного имитатора (виртуальной системы), а также программ для вычислительно-экспериментальных исследований прибора и определения его характеристик.
- Разработка функциональной схемы и формирование требований к её элементам.

Методы исследования Решение поставленных задач осуществлялось с использованием методов теоретической механики, теории колебаний, теории автоматического регулирования, методов цифровой обработки сигналов. Для исследования динамической точности в качестве критерия оптимизации использовался критерий min-max амплитуды вынужденных колебаний. При моделировании применялись пакеты прикладных программ «Matlab - Simulink», «Mathcad» и «Mathematica».

Внедрение результатов работы Результаты работы и предложенные методики проектирования и экспериментального исследования ГС с ГПС могут быть использованы и используются при создании систем подобного класса. Результаты были использованы в научно-исследовательских работах, проводимых научно-техническим центром «Фотон-Телеком» (г. С.-Пб., акт от 22.03.05). Разработанный в диссертации программный комплекс используется в учебном процессе на кафедре «Оптическая и квантовая радиофизика» СПб ГУТ (г. С.-Пб., акт от 25.05.05)..

Научная новизна работы

- Предложен новый способ гашения колебаний ГС.
- Разработаны математическая модель ГС с ГПС и алгоритмы синтеза оптимального гашения колебаний ГС.
- Проведено теоретическое исследование погрешностей ГС с ГПС.
- Разработана методика проектирования и выбора параметров гасителя.

- Разработан программный комплекс для моделирования ГС с ГПС.
- Предложена функциональная схема и сформулированы требования к элементам ГС с ГПС.
- Предложена методика экспериментального исследования ГС с ГПС.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- Предложены новые схемы гасителя колебаний ГС.
- Предложены методики выбора параметров и на их основе алгоритмы, позволяющие формировать структуру ГС с гасителем, а также оценивать эффективность гашения колебаний ГС.
- Разработаны методики проектирования и расчета ГПС.
- Создан программный комплекс для исследования системы.
- На основе разработанной методики проектирования ГС с ГПС создан имитатор, позволяющий проведение вычислительно-экспериментальных исследований.

Результаты работы и предложенные методики проектирования и экспериментального исследования ГС с ГПС могут быть использованы и используются при решении задачи гашения колебаний механических систем подобного класса.

Защищаемые положения

На защиту выносятся следующие новые положения и результаты, полученные в диссертационной работе:

- Способ демпфирования ГС с ГПС.
- Математическая модель ГС с ГПС.
- Методика выбора параметров ГС с ГПС для различных режимов работ.
- Алгоритмы синтеза оптимального гашения резонансных колебаний гиросистем.
- Математический анализ погрешностей ГС с ГПС.
- Функциональная схема и требования к элементам гасителя.
- Методика проведения и результаты вычислительно-экспериментальных исследований.
- Результаты эксперимента макета системы с ГПС.

Апробация результатов

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на XXIV конференции памяти Н.Н. Острякова – (г. С.-Пб., ГНЦ РФ ЦНИИ «Электродприбор», 2004 г.), на II и III конференциях молодых учёных, аспирантов и студентов – (М., МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004 и 2005 гг.), на Всероссийской научной конференции Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB (М., ИПУ РАН, 2004 г.), на V Международной конференции «Молодые учёные - промышленности, науке, технологиям и профессиональному образованию: проблемы и новые

решения» - (М., МГИУ, 2005), на VI научно-практической конференции для иностранных учащихся - «Студенческая весна» - (М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004). и др.

Публикации По теме диссертации опубликовано 5 научных трудов.

Структура и объем работы Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 198 страницах, содержит 117 иллюстраций и 9 таблиц. Библиография включает 60 наименований.

Содержание работы

Во введении излагается анализ известных структур гиросистем с динамическим гасителем колебаний, изучаются их недостатки, обосновывается актуальность диссертационной работы и формулируются основные цели и задачи работы. Раскрывается новизна и практическая ценность работы. Рассматриваются пути совершенствования гиросистем с гасителем. Описываются структура, основные характеристики и содержание диссертации.

В первой главе изучаются динамические характеристики гироскопической системы как объекта инерционного демпфирования. Разработана математическая модель многомассовой ГС с упруго-диссипативными связями. Уравнение движения механической части ГС представлены в векторно-матричной форме:

$$J^0 \ddot{\alpha} + D^0 \dot{\alpha} + C^0 \alpha = \overline{M}^0,$$

где $J^0 = \text{diag}(J_0, J_1, J_2, \dots, J_n)$ – матрица моментов инерции (матрица кинетической энергии);

$$D^0 = \begin{vmatrix} D_1 & -D_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -D_1 & D_1 + D_2 & -D_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -D_2 & D_2 + D_3 & -D_3 & \dots & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & -D_n & D_n \end{vmatrix}$$

– матрица вязкого трения (матрица диссипативной энергии) размерности $(n+1) \times (n+1)$;

$$C^0 = \begin{vmatrix} C_1 & -C_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ -C_1 & C_1 + C_2 & -C_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -C_2 & C_2 + C_3 & -C_3 & \dots & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & -C_n & C_n \end{vmatrix}$$

- матрица жесткостей (матрица потенциальной энергии) размерности $(n+1) \times (n+1)$;

$\overline{\alpha^0} = [\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n]^T$ – вектор обобщенных координат;

$\overline{M^0} = [M_0, M_1, \dots, M_n]^T$ – вектор возмущающих моментов.

Показано, что аналогом динамических свойств механической части ГС как объекта демпфирования является цепная механическая система с упруго-диссипативными связями динамических элементов со свободными концами для ИГС и с закрепленным концом для трёхстепенного гироскопа и СГС. Получены матрицы и передаточные функции податливости. Изучены динамические свойства и особенности частотных характеристик ГС с упруго-диссипативными связями. Рассмотрены различные динамические модели ГС, изучены динамические характеристики, получены аналитические выражения для передаточных функций податливости, для резонансных и анти-резонансных частот. Показано, что АЧХ диагональных динамических элементов матрицы податливости СГС с n степенями свободы имеет n резонансов, соответствующих собственным частотам и $n-1$ антирезонансов, где амплитуды колебаний возбуждаемого элемента ГС на сухом подвесе близки к нулю. Анализ частотных характеристик диагональных и внедиагональных передаточных функций податливости позволяет однозначно выбрать динамическую модель ГС с учётом ширины спектра внешнего воздействия. При этом, чем выше частоты внешнего воздействия, тем большее число степеней свободы должна иметь ГС с тем, чтобы учесть возможные резонансы.

Во второй главе рассмотрена динамика ГС с динамическим гасителем как системы автоматического регулирования (САУ) с обратной связью. На основе введения понятия «динамический коэффициент подавления колебаний» сформулированы требования к АФХ разомкнутой цепи, обеспечивающие подавление колебаний в заданном диапазоне частот по крайней мере в n раз по сравнению с колебаниями недемпфированной системы.

Предложен способ улучшения динамических характеристик инерционно-демпфируемой гиросистемы изменением её структуры путём отключения обратной связи вне полосы гашения. Физически отключение обратной связи осуществляется переключением жесткости с оптимального значения (в полосе гашения) до нуля вне полосы гашения. При этом в полосе гашения демпфер настраивается на постоянную частоту, соответствующую оптимальной жесткости, обеспечивающей заданный критерий качества подавления колебаний. Кинематическая схема ГС с ГПС представлена на рис. 1.

ГПС представляет собой инерционную массу (2), связанную с демпфируемым объектом (4) электрической пружиной, состоящей из датчика

угла (1) - измеряющего относительный угол поворота объекта и гасителя, усилителя, и датчика момента (3), статор которого жестко соединен с инерционной массой, а ротор с объектом. Сигнал с датчика угла (1), измеряющего относительный угол поворота (закручивания) объекта и гасителя, поступает через усилитель на датчик момента (3). При этом управление работой гасителя происходит по частоте вынужденных колебаний.

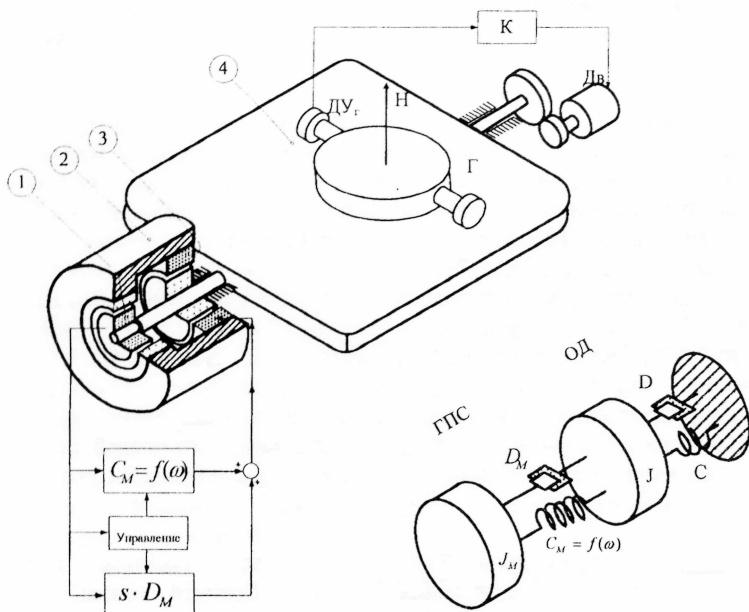


Рис. 1. Кинематическая схема, и динамическая модель ГС с ГПС:
1- датчик угла, 2- инерционная масса, 3- датчик момента, 4- объект демпфирования (ОД), C_M - жесткости гасителя, D_M - вязкость гасителя, Г-гирискосп, $DУ_g$ - датчик угла гироскопа, К - усилитель, Дв- двигатель ОД.

Уравнения движения ГС с гасителем могут быть записаны в виде:

$$\begin{cases} B \cdot \ddot{\beta} + d \cdot \dot{\beta} + H \cdot \dot{\alpha} = M_p, \\ J \cdot \ddot{\alpha} + (D + D_M) \cdot \dot{\alpha} + C_M \cdot \alpha - D_M \cdot \dot{\alpha}_M - C_M \cdot \alpha_M - H \cdot \dot{\beta} - K \cdot \beta = M, \\ J_M \cdot \ddot{\alpha}_M + D_M \cdot \dot{\alpha}_M + C_M \cdot \alpha_M - C_M \cdot \alpha - D_M \cdot \dot{\alpha} = M_M, \end{cases}$$

где: α, β, α_M - абсолютные углы поворота объекта, гироскопа и маховика гасителя соответственно;

H - кинетический момент гироскопа;

J, J_M - моменты инерции объекта и маховика относительно оси стабилизации;

B - момент инерции гироскопа относительно оси прецессии;

D, d, D_M - коэффициенты вязкого трения;

$C_M = f(\omega)$ - функция жесткости в зависимости от частоты;

M, M_β, M_M - моменты внешних сил.

Разрешая уравнения относительно вектора обобщенных координат в области изображений при $D = D_M = d = K = 0$, получим:

$$\begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \\ \alpha_M \end{pmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{pmatrix} J \cdot J_M \cdot s^2 \cdot [s^2 + \nu_M^2 \cdot (1 + \chi)] & -J_M \cdot H \cdot s \cdot (s^2 + \nu_M^2) & -H \cdot s \cdot C_M \\ -J_M \cdot H \cdot s \cdot (s^2 + \nu_M^2) & -J_M \cdot B \cdot s^2 \cdot (s^2 + \nu_M^2) & -C_M \cdot B \cdot s^2 \\ -H \cdot s \cdot C_M & -C_M \cdot B \cdot s^2 & s^2 \cdot [-B \cdot J \cdot s^2 + C_M - H^2] \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} M_\beta \\ M \\ M_M \end{pmatrix},$$

где $\Delta = J \cdot J_M \cdot B \cdot s^2 [s^4 + s^2 \cdot (\nu_M^2 \cdot (1 + \chi) + \nu^2) + \nu^2 \cdot \nu_M^2]$;

$\chi = \frac{J_M}{J}$ - отношение моментов инерции гасителя и объекта;

$\nu = \sqrt{C/J}$, $\nu_M = \sqrt{C_M/J_M}$ - парциальные частоты объекта демпфирования и гасителя соответственно.

Структурная схема одноосной гироскопической системы с ГПС переменной жёсткости, соответствующая системе уравнений, представлена на рис. 2,

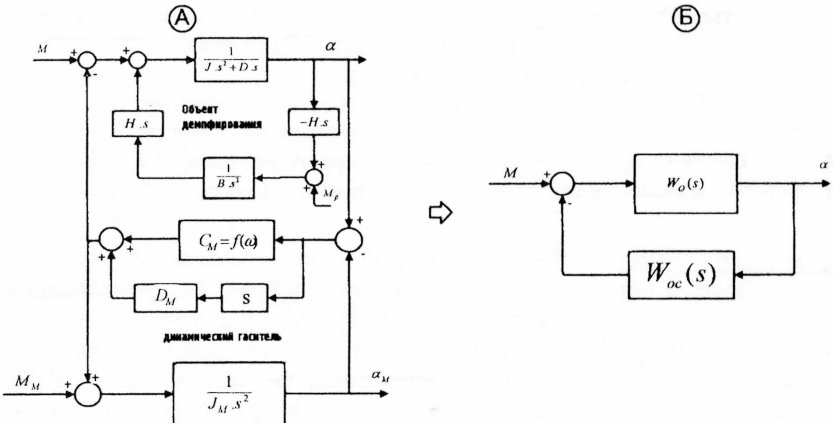


Рис. 2. Структурная схема одноосной гироскопической системы с ГПС

где $W_O(s)$ - передаточная функция объекта демпфирования,

$W_{oc}(s)$ - передаточная функция обратной связи.

В зависимости от требуемой эффективности подавления колебаний

система может работать в различных режимах:

1. режим постоянной жесткости (режим традиционного гасителя);
2. режим переключения;
3. режим многократного переключения;
4. режим динамической настройки на частоту внешнего воздействия (данный режим рассмотрен в гл. III).

Результаты моделирования работы системы в различных режимах, в том числе частотные характеристики функции настройки гасителя $\nu_M(\Omega)$ и безразмерные амплитудно-частотные характеристики ГС с ГПС представлены на рис. 3. Многократная перенастройка гасителя (более двух раз) обеспечивает амплитуду вынужденных колебаний ГС во всем частотном диапазоне, практически не превышающую статическую погрешность.

Получены аналитические выражения частот переключения, инвариантных к обратной связи, определяющих полосу гашения колебаний ГС, как для случая «отключения» инерционной массы ($C_M = 0$), так и для случая её «заклинивания» ($C_M = \infty$). Показано, что эффективность обоих способов практически одинакова и вопрос о применении того или иного способа должен решаться с учетом преимуществ их технической реализации.

Исследована эффективность демпфирования нутационных и резонансных колебаний многомассовой ГС гасителем ПС путём его перенастройки. Рассмотрены различные варианты схем ГС с ГПС в режиме переключения и перенастройки. Получены уравнения оптимизации характеристик ГС и частот переключения и перенастройки. На рис. 4 представлены относительные АЧХ для трехмассовой системы:

1. для объекта демпфирования без гасителя;
2. для ГС с ГПС, настроенным на первую резонансную частоту;
3. для ГС с ГПС, настроенным на вторую резонансную частоту;
4. для ГС с ГПС, при его перенастройке с первого резонанса на второй;
5. функция изменения настройки гасителя при его перенастройке.

В третьей главе предложен способ, обеспечивающий высокую эффективность и широкополосность гашения колебаний ГС динамическим настраиваемым гасителем колебаний (ДНГК) путём настройки гасителя на частоту внешнего воздействия. Разработана математическая модель ГС с ДНГК. На основе разработанной математической модели ГС с ДНГК получены условия настройки и переключения, и предложены алгоритмы работы гасителя, обеспечивающие высокую динамическую точность ГС. При этом функция изменения настройки гасителя $\bar{\nu}_M$ в зависимости от безразмерной частоты возмущения Ω имеет вид:

$$\begin{cases} \bar{\nu}_M = \bar{\nu}_0 & \text{при } \Omega \leq \Omega_B, \\ \bar{\nu}_M = \Omega & \text{при } \Omega_0 > \Omega > \Omega_B, \\ \bar{\nu}_M = \bar{\nu}_0 & \text{при } \Omega \geq \Omega_0, \end{cases}$$

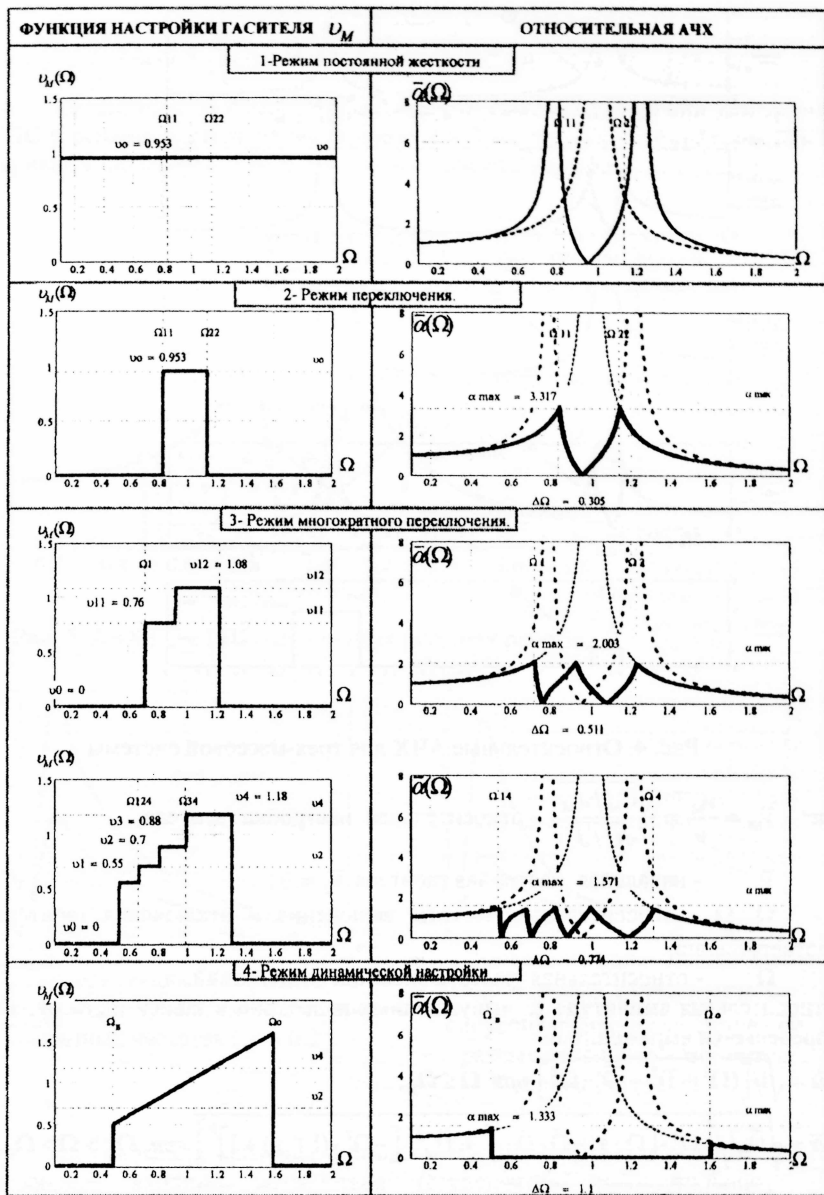


Рис. 3. Режимы работы ГС с ГПС: $\Delta\Omega$ - относительная полоса гашения; $\bar{\alpha}$ - относительная амплитуда колебаний.

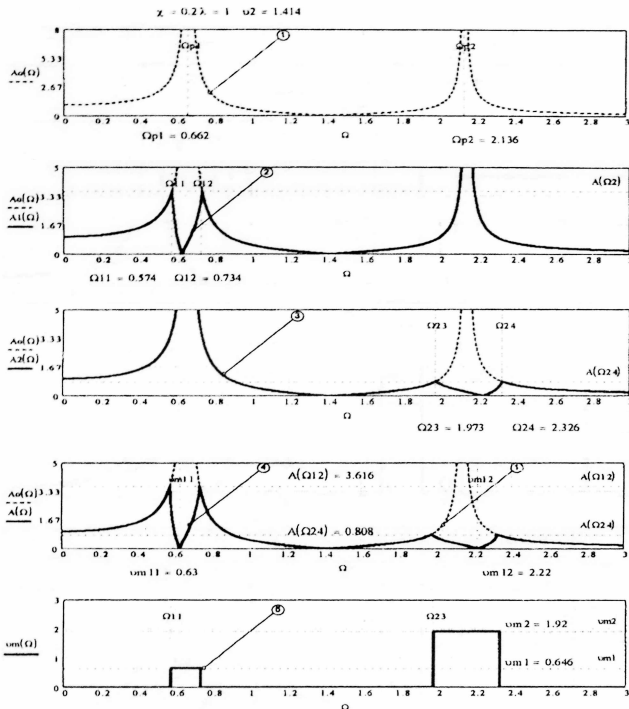


Рис. 4. Относительные АЧХ для трех-массовой системы

где: $\bar{V}_M = \frac{V_M}{V} = \frac{\sqrt{C_M/J_M}}{\sqrt{C/J}}$ - относительная настройка гасителя;

$\bar{V}_0$ - начальная настройка гасителя $\bar{V}_0 = 0$;

Ω_B, Ω_0 - относительные частоты включения и отключения гасителя соответственно;

Ω - относительная частота внешних воздействий.

Относительная амплитуда $\bar{\alpha}$ вынужденных колебаний в зависимости от Ω определяется выражениями

$$\begin{cases} \bar{\alpha} = \sqrt{1/[(\Omega^2 - 1)^2 + \bar{D}^2 \cdot \Omega^2]} \text{ при } \Omega \leq \Omega_B, \\ \bar{\alpha} = \sqrt{\bar{D}_M^2 / [\Omega^2 \cdot [\Omega \cdot \chi + \bar{D} \cdot \bar{D}_M]^2 + \bar{D}_M^2 \cdot [-\Omega^2 \cdot (1 + \chi) + 1]^2]} \text{ при } \Omega_0 > \Omega > \Omega_B, \\ \bar{\alpha} = \sqrt{1/[(\Omega^2 - 1)^2 + \bar{D}^2 \cdot \Omega^2]} \text{ при } \Omega \geq \Omega_0. \end{cases}$$

Частоты включения и отключения определяются допустимой амплитудой $\bar{\alpha}^*$:

$$\Omega_{B, OT} = \sqrt{\left[(2 - \bar{D}^2) \mp \sqrt{(\bar{D}^2 - 2)^2 - 4 \cdot \left(\bar{\alpha}^{*2} - 1 \right) / \bar{\alpha}^{*2}} \right] / 2}.$$

Сравнительная оценка эффективности гашения колебаний демпфером ГПС в режиме переключения (кривые 2 и 3 на рис. 5), и демпфером ДНГК (кривая 4) подтвердила большую эффективность второго.

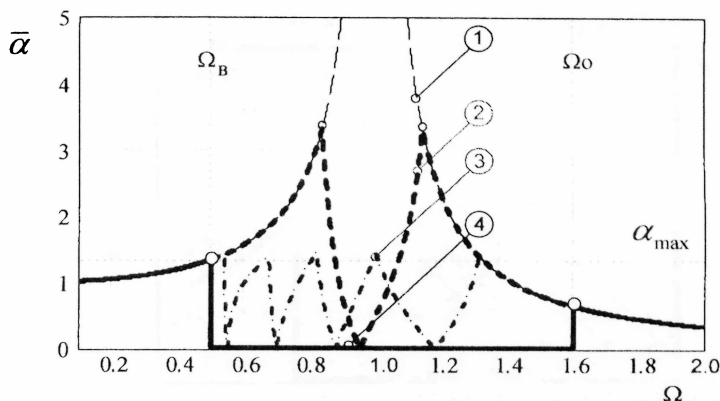


Рис. 5. АЧХ ГС с ГПС в различных режимах работы ($\bar{D} = \bar{D}_M = 0$)

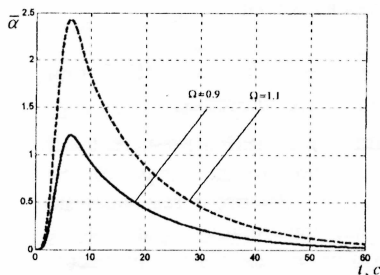


Рис. 6. Реакция ГС с ДНГК на синусоидальное воздействие при разных частотах ($\chi = 0.2$)

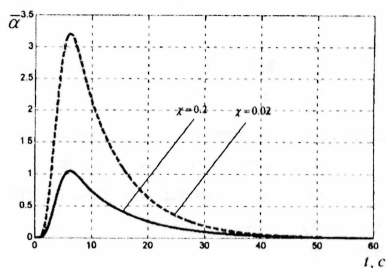


Рис. 7. Реакция ГС с ДНГК на синусоидальное воздействие при разных отношениях моментов инерции ($\Omega = 1$)

На основании критерия min-max АЧХ ГС с ДНГК и реакции ГС на различные входные воздействия (ступенчатое, прямоугольное и синусоидальное) при различных видах изменения частоты сигнала и различных отношениях моментов инерции (рис. 6 и 7), обоснованы требования к выбору параметров гасителя. Исследовано влияние на поведение ГС отношения моментов инерции гасителя и объекта.

Показана возможность уменьшения габаритно-массовых характеристик ГС с гасителем, путём уменьшения отношения моментов инерции гасителя и объекта демпфирования.

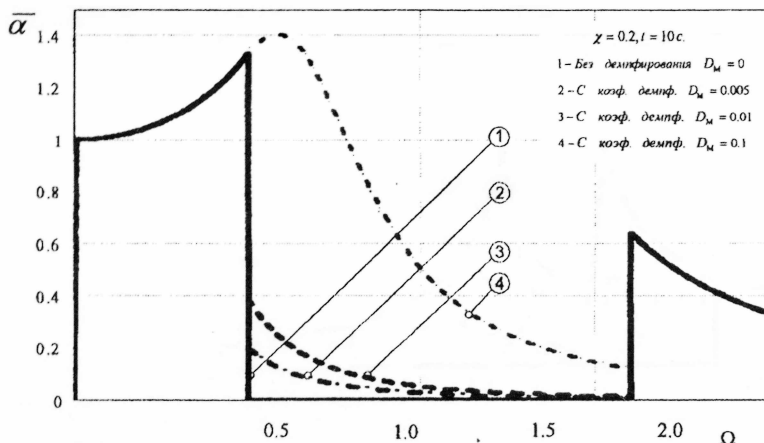


Рис. 8. Относительная амплитудно-частотная характеристика гиросистемы, при разных коэффициентах вязкости

Рассмотрено также влияние вязкости на поведение ГС с ДНГК при различных отношениях моментов инерции и различных частотах.

Установлено, что высокая эффективность гашения колебаний в значительной степени зависит от снижения уровня диссипативной связи инерционной массы в частотной области работы гасителя (рис. 8). Вместе с тем наличие вязкости улучшает работу ГС при переключении, уменьшает перерегулирование, и уменьшает время затухания переходного процесса. Определена оптимальная величина вязкости в гасителе, исходя из противоречивых требований по точности и времени затухания переходного процесса.

Исследовано влияние на поведение ГС различных его параметров, получены соответствующие аналитические выражения.

Четвертая глава посвящена анализу возможности реализации ГПС. Рассматривается функциональная схема и алгоритм работы ГПС. Разработана математическая модель погрешностей ГС с ГПС, в различных режимах её работы. Получены аналитические выражения для определения

погрешности ГС с ГПС, из-за погрешностей её элементов.

Выражение, определяющее погрешность системы $\delta_{\bar{a}}$ в зависимости от погрешности частотомера δ_{Ω} , имеет вид:

- для режима переключения:

$$\delta_{\bar{a}} = 1 - \left\{ \frac{-\Omega^4 \cdot (\delta_{\Omega} + 1)^4 + \Omega^2 \cdot [1 + \bar{v}_M^2 \cdot (\chi + 1)] \cdot (\delta_{\Omega} + 1)^2 - \bar{v}_M^2}{[-\Omega^2 \cdot (\delta_{\Omega} + 1)^2 + \bar{v}_M^2] \cdot [\Omega^2 \cdot (\chi + 1) - 1] \cdot \bar{v}_M^2 + \Omega^2 \cdot (1 - \Omega^2)} \right\};$$

- для режима настройки:

$$\delta_{\bar{a}} = \left| 1 / \left\{ \left[\frac{(\delta_{\Omega} + 1)^2 \cdot \chi}{\delta_{\Omega} \cdot (\delta_{\Omega} + 1)} \right] \cdot \Omega^2 - 1 \right\} \right|,$$

где $\delta_{\Omega} = \frac{\Omega_n - \Omega_0}{\Omega_n}$, $\delta_{\bar{a}} = \frac{\bar{a} - \bar{a}_0}{\bar{a}}$;

Ω_0 Ω_n - действующая и измеряемая частота;

$\bar{a}$ – безразмерная амплитуда в случае реального переключения;

$\bar{a}_0$ – безразмерная амплитуда в случае идеального переключения.

Определены требования к элементам гасителя, обеспечивающие заданную точность демпфирования. Рассмотрено влияние характерных для ГС с ГПС погрешностей и предложены пути уменьшения их влияния на точностные характеристики ГС. Установлено, что получение высокой эффективности гашения колебаний в значительной степени зависит от снижения погрешностей измерения (рис. 9), тем более при уменьшении отношения моментов инерции χ . Показано, что в отличие от традиционного гасителя, где эффективность гашения существенно зависит от отношения моментов инерции χ , эффективность ГПС в значительной степени определяется точностью измерения частоты, что обуславливает возможность уменьшения отношения моментов инерции χ и позволяет снизить габариты и вес гиросистемы с гасителем. Показана возможность реализации функциональной схемы, приведены примеры выбора характеристик ее элементов. Определена зависимость динамической точности гиросистемы от погрешности частотомера и датчика угла в установившемся состоянии и в переходном режиме работы гиросистемы. Использование современных достижений в области вычислительной и микропроцессорной техники обеспечивают возможность выполнения предложенной функциональной схемы.

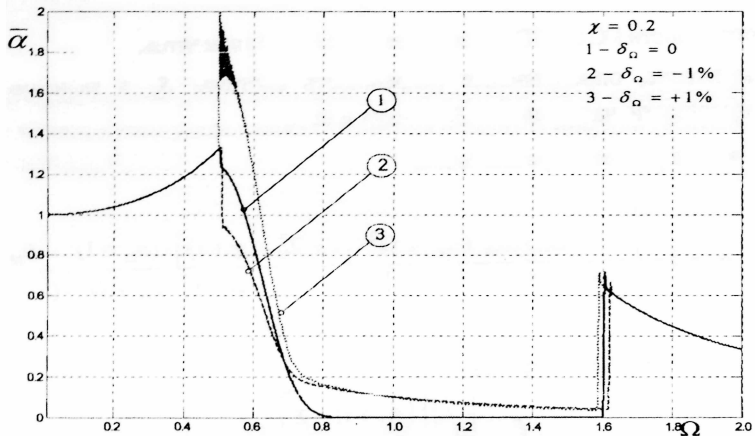


Рис. 9. Изменение АЧХ гиросистемы в зависимости от погрешности измерения частоты

Обоснована целесообразность введения вязкого трения в гасителе с целью уменьшения его чувствительности к погрешностям его элементов (см. рис. 10).

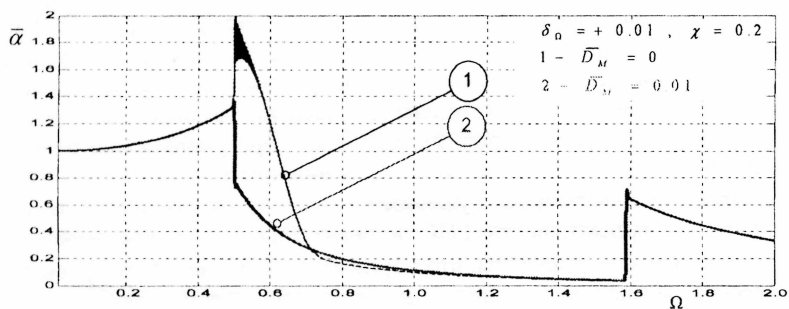


Рис.10. Влияние вязкости на ГС с ГПС

Анализ погрешностей, проведенный в данной главе, может служить основой для определения модели погрешностей ГС с ГПС в зависимости от вида подвижного объекта и условий его эксплуатации.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в работе, сделаны общие выводы по диссертации.

1. Предложен способ улучшения динамических характеристик инерционно-демпфируемой гиросистемы изменением её структуры путём отключения обратной связи вне полосы гашения. При этом в полосе гашения гаситель настраивается либо на постоянную частоту, соответствующую оптимальному значению жесткости, обеспечивающему заданный критерий качества подавления колебаний, либо на частоту внешнего воздействия.
2. Разработана математическая модель демпфирования нутационных и упругих колебаний многомассовой силовой и индикаторной гиросистемы с упруго-диссипативными связями динамических элементов гасителем переменной структуры.
3. В рамках разработанной модели разработаны алгоритмы синтеза оптимального гашения резонансных колебаний одномассовой и двухмассовой гиросистемы силового и индикаторного типов как объекта демпфирования динамическим гасителем переменной структуры, обеспечивающие подавление колебаний в заданном диапазоне частот по крайней мере в (n) раз по сравнению с колебаниями недемпфированной системы.
4. На основе предложенной модели погрешностей ГС с ГПС рассмотрено влияние характерных для ГС с ГПС погрешностей и предложены пути уменьшения их влияния на точностные характеристики ГС.
5. Показано, что в отличие от традиционного гасителя, где эффективность гашения существенно зависит от отношения моментов инерции, эффективность ГПС в значительной степени определяется точностью измерения частоты и точностью датчика угла, что обуславливает возможность уменьшения отношения моментов инерции и позволяет снизить габариты и вес гиросистемы с гасителем.
6. Сравнительная оценка эффективности гашения колебаний демпфером ГПС в режимах переключения и перенастройки с одной стороны, и демпфером ДНГК с другой подтвердила большую эффективность второго.
7. Предложена функциональная схема изменения структуры ГС, и определены требования к её элементам, обеспечивающим заданную точность демпфирования. Использование современных достижений в области вычислительной и микропроцессорной техники обеспечивают возможность выполнения предложенной функциональной схемы.
8. На основе предложенной схемы разработан имитатор, а также разработаны программы в различных средах для вычислительно-экспериментальных исследований ГС с ГПС. Проведены теоретические, вычислительно-экспериментальные и экспериментальные исследования системы в различных режимах работы. Получены вычислительно-экспериментальные и экспериментальные данные, подтверждающие теоретические исследования.

Публикации по теме диссертации

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Черников С. А., Салек Самар. Улучшение динамических характеристик инерционно-демпфируемых гиросистем управлением жёсткостью // Гироскопия и навигация. - 2004.- № 4(47). – С. 75.
2. Черников С. А., Салек Самар, Гироскопическая система с активным динамическим настраиваемым гасителем // Научно-технические проблемы приборостроения и машиностроения: Сборник трудов Российской научно-технической конференции. - Томск, 2004. - С 88-91.
3. Салек Самар. Гиросtabilизатор с активным динамическим гасителем колебаний // Информатика и системы управления: Сборник трудов молодых учёных, аспирантов и студентов - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004.- №2.- С. 32-34.
4. Черников С. А., Салек Самар. Использование пакета «MATLAB-SIMULINK» для моделирования и исследования гиросtabilизатора с активным динамическим гасителем колебаний (АДГК) // Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB. Труды второй Всероссийской научной конференции. - М., 2004. - С 773-774.
5. Салек Самар, Улучшение динамических характеристик гиросистемы гиросистем переменной структуры // 4-я международная конференция «Авиация и космонавтика - 2005». Тезисы докладов. – М.: Издательство МАИ, 2005. - С 122-123.

Кроме того, находится в печати работа автора

Салек Самар. Синтез гиросистемы с динамическим гасителем переменной структуры // Информатика и системы управления: Сборник трудов молодых учёных, аспирантов и студентов - М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.- №3.

Подписано к печати 19 /10/2005 Заказ № 327 Объём 1.0 п.л, Тир. 100 экз.

Типография МГТУ им. Н.Э. Баумана.