

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
Публичного акционерного
общества «Ростовский оптико -
механический завод»



Желтухин
Алексей Александрович
«17» декабря 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Малютина Дмитрия Михайловича
«Способы повышения точности информационно-измерительных и
управляющих систем на основе гиросtabilизаторов», представленную на
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.11.

Информационно - измерительные и управляющие системы

1. Актуальность темы диссертационной работы

Информационно - измерительные и управляющие системы (ИИиУС) на основе управляемых гиросtabilизаторов (ГС) нашли широкое применение при использовании на подвижных объектах. К ним относятся: системы оптического наблюдения гражданского назначения; информационно - измерительные охранные системы оптического наблюдения, гиросtabilизированные системы технического зрения, гравиметрические комплексы для гравиметрических измерений; системы ориентации и навигации подвижных объектов и др. Разработкой, производством этих систем и решением задачи повышения их точности, улучшения комплекса технических характеристик в настоящее время занимается целый ряд отечественных и зарубежных организаций.

Несмотря на то, что достигнут высокий уровень качественных показателей ИИиУС на основе управляемых ГС, существует противоречие между потенциальными возможностями таких систем и достигнутым уровнем. Основными причинами отмеченного противоречия является несовершенство

используемых структурных схем построения, математического описания, алгоритмов функционирования и элементной базы ИИиУС на основе управляемых ГС. В результате, практические погрешности превышают потенциально достижимые.

В связи с этим тема диссертационного исследования Малютина Д.М. «Способы повышения точности информационно - измерительных и управляющих систем на основе гиросtabilизаторов» и научная проблема, решаемая автором – развитие теории построения информационно - измерительных и управляющих систем повышенной точности на основе гиросtabilизаторов, представляются весьма актуальными.

Тема диссертационной работы актуальна не только с точки зрения развития теории построения информационно - измерительных и управляющих систем повышенной точности на основе гиросtabilизаторов, но и с точки зрения инженерной практики создания таких систем повышенной точности.

2. Новизна полученных результатов

В ходе диссертационного исследования автором получены результаты, обладающие научной новизной:

- Структура построения и математическое описание многофункциональной ИИиУС на основе двухосной индикаторной гировертикали на микромеханических чувствительных элементах (ММЧЭ), отличающейся от известных управлением с применением образцовых моделей контуров стабилизации и коррекции гировертикали, обеспечивающей функцию стабилизации и управления положением полезной нагрузки (ПН) в пространстве и функцию выработки параметров ориентации подвижного основания. Способы повышения точности многофункциональной информационно - измерительной и управляющей системы на основе двухосной индикаторной гировертикали на ММЧЭ.

- Способ повышения точности двухосного индикаторного ГС ПН на динамически настраиваемом гироскопе (ДНГ), основанный на введении в усилительно - преобразующий тракт (УПТ) каналов стабилизации, в отличие от известных решений, комбинации изодромного, интегро - дифференцирующего

звена и трех режекторных звеньев, и обеспечивающий устойчивый режим работы ГС, расширение полосы пропускания, повышение динамической точности, инвариантность ГС к временной нестабильности ряда параметров ДНГ. Обобщенная математическая модель двухосного ГС ПН на ДНГ (как система нелинейных дифференциальных уравнений, включающая дифференциальные уравнения движения полезной нагрузки, дифференциальные уравнения функционирования ДНГ, дифференциальные уравнения функционирования УПТ контуров управления, дифференциальные уравнения кинематики движения элементов карданова подвеса), отличающаяся от имеющихся подробным представлением возмущений в виде функций угловых скоростей качки основания, угловых скоростей движения элементов карданова подвеса при переменных углах поворота рам карданова подвеса и учетом динамических связей между каналами системы, позволяющая анализировать работу системы в реальных условиях эксплуатации на подвижном основании.

- Структурные решения построения УПТ чувствительных элементов ГС ИИиУС и проектировочные зависимости, обеспечивающие повышение динамической точности работы (микромеханических акселерометров (ММА) и микромеханических гироскопов (ММГ); волнового твердотельного гироскопа (ВТГ) в режиме ДУС; акселерометров компенсационного типа и датчика угловой скорости (ДУС) на основе поплавкового интегрирующего гироскопа (ПИГ), в отличие от известных решений, с учетом процессов модуляции и демодуляции полезного сигнала, цифрового преобразования выходного сигнала и заданными величиной динамической погрешности и помехи на выходе акселерометра компенсационного типа и ДУС на основе ПИГ).

- Структура построения двухосного индикаторного ГС морского гравиметра, с системой коррекции настроенной на период Шулера, отличающаяся от известных автономным способом демпфирования собственных колебаний с применением полосового фильтра в прямой цепи, охватывающей первый интегратор и наличием приборных перекрестных связей между каналами системы коррекции и обеспечивающая инвариантность ГС к линейным ускорениям (с точностью до малой величины ε) не только при

прямолинейном движении, но и при циркуляции судна. Особенностью математического описания структуры построения двухосного индикаторного ГС морского гравиметра, является возможность прогнозирования погрешностей ГС и погрешностей гравиметрических измерений в зависимости от кинематических параметров движения судна.

- Структура построения двухосного индикаторного ГС морского гравиметра повышенной точности, отличающаяся от известных введением в систему интегральной коррекции контуров параметрической коррекции сигнала первого интегратора для обеспечения устойчивого режима работы ГС при сохранении инвариантности к движению судна.

- Структуры построения адаптивных схем акселерометрической коррекции ГС морского гравиметра, в отличие от известных, обеспечивают повышенную точность гравиметрических измерений. Особенностью математического описания адаптивных схем акселерометрической коррекции ГС морского гравиметра являются критерии самонастройки параметров этих схем.

- Структура построения и математическая модель двухосного индикаторного ГС гравиметрического комплекса с комбинированным управлением, отличающаяся от известных наличием каналов компенсации не только моментов сил вязкого трения, но и инерционных возмущающих воздействий, а также наличием контуров самонастройки параметров каналов компенсации возмущающих воздействий для повышения точности ГС. Соотношения для выбора параметров каналов компенсации возмущающих воздействий, обеспечивающие наилучшее качество работы системы.

3. Степень обоснованности научных положений, результатов, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации

Обоснованность научных положений, результатов, выводов и способов повышения точности, содержащихся в диссертации Малютина Д.М., подтверждаются достаточным объемом отечественных и зарубежных источников, проанализированных автором. Теоретические положения работы подтверждены результатами лабораторных и натурных экспериментальных

исследований. Результаты работы прошли апробацию и заслужили положительную оценку на научно - технических конференциях высокого уровня, подтверждаются патентами РФ, актами внедрения результатов диссертационной работы в научную, производственную и учебную деятельность АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» г. Санкт Петербург, АО «Южморгеология» г. Геленджик, ФГБОУ ВО Тульский государственный университет, большим объемом и результатами производственных работ с применением информационно - измерительных систем на основе ГС, реализованных с использованием способов повышения точности, разработанных автором диссертации. При решении поставленных задач использовались хорошо апробированные методы математического анализа, теории автоматического управления, спектрального анализа, теории гироскопических приборов и систем, методы обработки измерительной информации.

На основании вышеизложенного можно заключить, что способы повышения точности, научные положения, результаты, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации, являются научно обоснованными.

4. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы

- Структура построения многофункциональной информационно - измерительной и управляющей системы на основе индикаторной гировертикали на ММЧЭ позволяет реализовать с помощью этой системы совмещенный режим стабилизации, управления ПН в пространстве и измерения параметров ориентации подвижного основания, выполняя функции традиционно применяющихся для решения этих задач двух систем: карданной или бескарданной системы ориентации и системы стабилизации и управления ПН. Математическое описание многофункциональной информационно - измерительной системы позволяет анализировать погрешности стабилизации ПН и погрешности выработки параметров ориентации подвижного основания. Способы повышения точности обеспечивают уменьшение погрешностей стабилизации полезной нагрузки и измерения параметров ориентации

подвижного основания. Погрешность стабилизации малогабаритной ГВ не превышает $\pm 0,69$ угл. мин. Достигнутые технические характеристики позволяют говорить о ликвидации некоторого отставание технических характеристик отечественных малогабаритных ГС по сравнению с зарубежными.

- Предложенный способ повышения точности двухосного индикаторного ГС ПН на ДНГ позволяет приблизить точностные характеристики системы к потенциально достижимым. Разработанная в работе математическая модель двухосного ГС ПН на ДНГ позволяет повысить достоверность результатов проектирования ИИиУС, сократить временные затраты при проектировании, получить оценки точности работы системы в условиях приближенным к реальным при установке на подвижном основании. Погрешность стабилизации не превышает $\pm 0,0045$ град при частоте качки основания 2 Гц.

- Структурные решения построения УПТ ЧЭ ГС ИИиУС обеспечивают повышение динамической точности работы этих ЧЭ, а следовательно и всей ИИиУС. Аналитические выражения для определения параметров УПТ позволяют обеспечить проектирование ЧЭ с заданным значениям динамической погрешности, а также с заданной величиной помехи на выходе.

- Структура построения двухосного индикаторного ГС морского гравиметра с системой коррекции, настроенной на период Шулера, с автономным способом демпфирования собственных колебаний, позволяет обеспечить инвариантность ГС к линейным ускорениям (с точностью до малой величины ε) не только при прямолинейном движении, но и при циркуляции судна. Математическое описание двухосного индикаторного ГС морского гравиметра позволяет прогнозировать погрешности ГС и погрешности гравиметрических измерений.

Предложенное автором решение является универсальным и может быть применено при стабилизации других типов полезной нагрузки, в частности оптической аппаратуры.

- Структура построения двухосного индикаторного ГС морского гравиметра с контурами параметрической коррекции сигнала первого

интегратора системы интегральной коррекции позволяет устранить противоречие между обеспечением инвариантности ГС к линейным ускорениям при настройке системы на период Шулера для обеспечения повышенной точности функционирования и автономным демпфированием собственных колебаний стабилизируемой платформы.

- Структуры построения и математическое описание адаптивных схем акселерометрической коррекции ГС морского гравиметра являются методологической и теоретической базой, позволяющей исследовать, обосновывать и синтезировать критерии самонастройки и разрабатывать алгоритмические и программные средства для решения задачи повышения точности гравиметрических измерений.

- Структура построения и математическая модель двухосного индикаторного ГС с каналами компенсации возмущающих воздействий и контурами самонастройки параметров каналов компенсации возмущающих воздействий описывает решение, обеспечивающее требуемую точность стабилизации полезной нагрузки в условиях повышенного уровня возмущений, когда это не удастся добиться путем увеличения коэффициента усиления по контуру в замкнутой системе управления по отклонению, величина которого ограничена условиями устойчивости системы. Результаты исследования различных структурных решений построения каналов компенсации возмущающих воздействий и соотношения для выбора параметров каналов компенсации позволяют обеспечить высокое качество работы системы в процессе проектирования (значение ЛАЧХ по передаточной функции, являющейся отношением возмущающего момента после компенсации к действующему возмущающему моменту, на частоте 1с^{-1} составляет от -36дБ до -167дБ в зависимости от применяемого структурного решения).

Разработанная автором теория компенсации возмущающих воздействий является универсальной и применима для ГС с различным типом чувствительных элементов и при стабилизации других типов полезной нагрузки, в частности оптической аппаратуры.

5. Структура работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, приложений.

В первой главе рассмотрена динамика ИИиУС на основе ГС с системой коррекции, настроенной на период Шулера и способы повышения точности этой системы. Во второй главе рассмотрена динамика ИИиУС на основе ГС с системой коррекции с самонастройкой параметров, эквивалентная длиннопериодному маятнику с постоянной времени порядка 50 с и способы повышения точности этой системы. В третьей главе рассмотрена динамика ИИиУС с комбинированным управлением и самонастройкой параметров цепей компенсации возмущений. В четвертой главе рассмотрены способы повышения точности чувствительных элементов ГС ИИиУС. В пятой главе разработана теория многофункциональной ИИиУС на основе гировертикали на ММЧЭ и способы повышения точности этой системы. В шестой главе рассмотрена динамика ИИиУС на основе ДНГ и способы повышения точности этой системы.

Диссертация изложена на 391 странице машинописного текста, включая рисунки, таблицы, библиографический список из 237 источников. Отдельные выводы приведены в конце каждой главы, основные теоретические и практические результаты – в заключении диссертации.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы, раскрывает основные положения проведенного исследования и полученные результаты. Основные выводы по диссертации приведены в заключении автореферата.

Структура диссертации соответствует требованиям ВАК.

6. Публикации и апробация результатов работы

Основные результаты диссертации отражены в 10 статьях, входящих в реферативные базы данных Web of Science и Scopus, 30 статьях из перечня ВАК, 16 статьях в других изданиях, 12 патентах на изобретение РФ, 2 патентах РФ на полезную модель, двух программах для ЭВМ, а также в двух монографиях.

Результаты исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях: X Санкт-Петербургская международная конференция по

интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2003 г.); VIII Всероссийская НТК «Проблемы проектирования и производства систем и комплексов» (Тула, 2005 г.); XIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2006 г.); XIV Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2007 г.); XVI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2009 г.); XXVII конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н. Острякова. 2010 (г. Санкт-Петербург, 2010 г.); VI международная научно-техническая конференция «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (г. Орел, 2014 г.); «Системы управления беспилотными космическими и атмосферными летательными аппаратами» III Всероссийская научно-техническая конференция (г. Москва, 2015 г.); «Приборостроение-2015» 8-я международная научно-техническая конференция, (г. Минск, Республика Беларусь, 2015 г.); «Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки» III Всероссийская научно-практическая конференция «АВИАТОР» (г. Воронеж, 2016); XXIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2016 г.); XXIV Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2017 г.); «Приборостроение-2017» 10-ая международная научно-техническая конференция (г. Минск, Республика Беларусь, 2017 г.); Юбилейная XXV Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2018 г.); «Приборостроение-2018» 11-ая международная научно-техническая конференция (г. Минск, Республика Беларусь, 2018 г.); «Приборостроение-2019» 12-ая международная научно-техническая конференция (г. Минск, Республика Беларусь, 2019 г.); XXVII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2020 г.); «Приборостроение-2020» 13-ая международная научно-техническая конференция (г. Минск,

Республика Беларусь, 2020 г.); 57-я научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ с всероссийским участием (г. Тула, 2021 г.); Юбилейная XXX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам (г. Санкт-Петербург, 2023 г.).

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Перспективные структуры построения ИИиУС повышенной точности на основе ГС и их математические модели, имитационные модели, проектировочные зависимости, разработанные в диссертации, являются теоретической основой при создании ИИиУС повышенной точности на основе ГС и позволяют проводить анализ функционирования системы на подвижном основании, оценивать и минимизировать погрешности системы, автоматизировать ряд расчетных этапов проектирования, сократить затраты при проектировании ИИиУС повышенной точности на основе ГС.

Применение и развитие соответствующих исследований могут иметь место в институтах, занимающихся проектированием ИИиУС на основе ГС, а также в следующих предприятиях и организациях: ПАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева», АО «Азовский оптико-механический завод», ПАО «Ростовский оптико-механический завод», АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» г. Санкт - Петербург, АО «Южморгеология» г. Геленджик, ОАО «Мичуринский завод «Прогресс», ЗАО «МНИТИ» г. Москва и др.

8. Замечания по работе

- При разработке математического описания ГС ИИиУС автор использовал уравнения Эйлера. Следовало бы дать обоснование, почему применен данный способ, а не метод Лагранжа.

- В диссертационном исследовании автор разработал и описал ряд достаточно сложных имитационных моделей функционирования ИИиУС на основе ГС при трехкомпонентной качке основания. На стр.273 (рис.5.5.1) приведена имитационная модель ГС на ММЧЭ в режиме стабилизации, на стр.309 (рис.5.12.1) приведена имитационная модель многофункциональной

гировертикали на микромеханических чувствительных элементах в совмещенных режимах стабилизации и коррекции, на стр.352 (рис.6.4) приведена имитационная модель ГС на ДНГ. Было бы целесообразно в диссертации привести более подробную инструкцию «пользователя» этих имитационных моделей.

- В разделе 5.10 приведен пример компоновочной схемы малогабаритной многофункциональной гировертикали на микромеханических чувствительных элементах. Из текста диссертации не ясно какой конкретно тип датчиков момента и датчиков угла применен в конструкции.

- В диссертации при исследовании влияния шума ММГ на точность ГС оптической аппаратуры автором рассмотрены два способа решения задачи – это аналитический способ с использованием паспортных данных ММГ и способ, основанный на записи показаний реальных ММГ на неподвижном основании и далее использовании этой записи в качестве входного возмущающего сигнала в имитационной модели системы. Следовало бы сравнить эти способы и дать рекомендации к применению.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

9. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Малютин Дмитрий Михайловича «Способы повышения точности информационно - измерительных и управляющих систем на основе гиросtabilизаторов», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.11. Информационно - измерительные и управляющие системы является научно - квалификационной работой, в которой решена актуальная научная проблема – развитие теории построения информационно - измерительных и управляющих систем повышенной точности на основе гиросtabilизаторов.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Тексты диссертации и автореферата изложены грамотным техническим языком. Способы повышения точности ИИиУС на основе ГС, научные

положения, результаты, выводы и рекомендации, приведенные в диссертации, обоснованы и аргументированы, а их достоверность не противоречит известным теоретическим положениям, подтверждены экспериментом и результатами производственных работ.

Диссертационная работа «Способы повышения точности информационно - измерительных и управляющих систем на основе гиросtabilизаторов» соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК РФ и паспорту научной специальности 2.2.11. Информационно - измерительные и управляющие системы, а ее автор Малютин Дмитрий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Диссертационная работа заслушана и одобрена на заседании НТС опытного конструкторского бюро, протокол № 5, от «16» декабря 2024 г.

Отзыв подготовил:

Главный конструктор ПАО «РОМЗ»

Медведев Александр
Владимирович

17.12.2024

Подпись Медведева Александра Владимировича



Завещаю

17.12.2024

Полное наименование организации: Публичное акционерное общество «Ростовский оптико - механический завод».

Адрес: 152150, Россия, Ярославская область, г. Ростов, Савинское шоссе, 36.

Телефон: +74853695003

Электронная почта : inform@romz.ru

Сайт организации: <https://www.romz.ru/ru/>