

официального оппонента, доктора технических наук, профессора, руководителя научного направления «Потенциальные поля» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук г. Москва, заслуженного деятеля науки РФ Конешова Вячеслава Николаевича на диссертационную работу Малютина Дмитрия Михайловича, выполненную на тему «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

Актуальность темы диссертационной работы. Тема диссертационной работы Малютина Дмитрия Михайловича «Способы повышения точности информационно - измерительных и управляющих систем на основе гиросtabilизаторов» является актуальной. Информационно - измерительные и управляющие системы (ИИиУС) на основе гиросtabilизаторов (ГС) применяются на морских, воздушных и наземных транспортных средствах и позволяют решать ряд важных народнохозяйственных задач, как то: проведение гравиметрических измерений и изучение по этим данным геологических объектов, использование данных о измеренном ускорении силы тяжести в метрологии, проведение гравитационной разведки с целью поиска структур, к которым могут быть приурочены залежи полезных ископаемых, главным образом нефти и газа. ИИиУС на основе ГС применяются при решении задач наблюдения за состоянием тепловых, газовых и магистральных сетей, исследовании морских течений, обнаружении пожаров, в сельском хозяйстве, применяются в составе охранных систем. Несмотря на то, что достигнут высокий уровень технических характеристик ИИиУС на основе ГС существует потенциал и необходимость повышения их точности. Например, достигнутый уровень точности измерения ускорения силы тяжести Земли при гравиметрических измерениях с целью поиска нефтегазоносных структур желательно повысить в несколько раз. Вышеперечисленные ИИиУС на основе ГС имеют свои особенности, однако, подчиняются и общим законам функционирования и математического описания. Диссертационное исследование Малютина Дмитрия Михайловича (далее автора) посвящено решению актуальной научной проблемы – развитию теории построения ИИиУС на основе ГС с целью повышения их точности.

Структура работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, кроме того в диссертации имеется список литературы, приложения, список сокращений и условных обозначений.

Во введении автором обоснована актуальность темы, определены научная проблема и цель диссертационного исследования, объект, предмет и задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе автором выполнен обзор и анализ научных работ по ИИиУС на основе ГС для гравиметрических измерений. Отмечается, что в современных образцах гравиметрических ИИиУС на основе ГС применяется принцип индикаторной стабилизации гравиметра с акселерометрической коррекцией. Показано, что существует необходимость повышения достигнутой предельной точности измерений, а одним из основных путей решения этой задачи является совершенствование управляемых ГС гравиметрической аппаратуры. Автором исследованы уравнения, описывающие динамику ГС с системой интегральной коррекции с автономным демпфированием собственных колебаний, с апериодическим звеном в прямой цепи, охватывающей первый интегратор и с полосовым корректирующим фильтром в прямой цепи, охватывающей первый интегратор. Найдено аналитическое решение, связывающее параметры полосового корректирующего фильтра с характеристиками собственного движения системы. Применение полосового фильтра в прямой цепи, охватывающей первый интегратор системы коррекции, позволило обеспечить устойчивость системы при настройке на период Шулера автономным способом и обеспечить расчетную среднюю интегральную величину погрешности из-за ускорений и наклонов основания равной $0,007$ мГал при амплитуде возмущающего ускорения 100 Гал и частоте качки основания 1с^{-1} . Автором разработана структура и математическое описание ГС морского гравиметра с двухканальной системой коррекции, настроенной на период Шулера с автономным способом демпфирования собственных колебаний, обеспечивающая практическую инвариантность ГС к линейным ускорениям не только при прямолинейном движении, но и при циркуляции судна. Разработано структурное решение и математическое описание построения ГС гравиметра с параметрической коррекцией сигнала первого интегратора системы интегральной коррекции, которое обеспечивает инвариантность ГС к линейным ускорениям судна и одновременно демпфирование собственных колебаний в автономном режиме. Следствием инвариантности прибора к ускорениям судна является отсутствие погрешности гравиметрических измерений из-за наклонов и ускорений гиростабилизированной платформы. Автором проведены исследования динамики контура стабилизации с учетом процессов модуляции и демодуляции сигнала поплавкового интегрирующего гироскопа. Проведена оптимизация параметров корректирующего фильтра контура, что позволило автору синтезировать контур стабилизации, обладающий следующими достоинствами: высокая динамическая точность (-130 дБ ÷ -133 дБ) в области

рабочих частот ($1\text{ рад/с} \div 0,8\text{ рад/с}$), отсутствие статической погрешности, эффективное подавление высокочастотных помех датчика угла гироскопа после демодуляции при требуемых запасах устойчивости.

Во второй главе автором разработаны и исследованы структуры и математическое описание схем акселерометрической коррекции индикаторного ГС морского гравиметра повышенной точности с самонастройкой параметров. Рассмотрены различные структурные решения схем акселерометрической коррекции ГС с самонастройкой параметров (с дополнительным аperiodическим звеном первого порядка, с применением комбинации аperiodического и форсирующего звеньев первого порядка, с применением дополнительного интегро - дифференцирующего звена четвертого порядка с рекуррентной процедурой настройки его параметров), получены соответствующие критерии самонастройки. Разработанный автором подход в случае применения системы акселерометрической коррекции с самонастройкой параметров и применением дополнительного интегро - дифференцирующего звена четвертого порядка обеспечивает отсутствие систематических погрешностей гиросtabilизированного гравиметра от составляющих горизонтального ускорения с различными значениями преобладающей частоты качки, обусловленных не только линейными ускорениями орбитального движения центра тяжести судна, бортовой качкой, килевой качкой, но и рысканием и наличием хода судна, рысканием при установке гравиметра на некотором расстоянии от центра тяжести судна в условиях изменяющейся нерегулярной качки судна. Предлагаемые схемы и математическое описание акселерометрической коррекции являются новыми и оригинальными.

В третьей главе автором на основе метода комбинированного управления разработана структура ГС гравиметра с компенсацией возмущающих воздействий по каналам наружной и внутренней рам ГС и самонастройкой параметров каналов компенсации возмущающих воздействий, разработана математическая модель ГС с комбинированным управлением и самонастройкой параметров каналов компенсации возмущающих воздействий. Компенсация возмущающих воздействий позволяет повысить точность работы ГС. Автором разработаны и исследованы различные структурные решения построения каналов компенсации возмущающих воздействий, получены соотношения, позволяющие рассчитать параметры каналов компенсации возмущающих воздействий, при которых обеспечивается лучшее качество работы схемы. Например, значение ЛАЧХ по передаточной функции, являющейся отношением возмущающего момента после компенсации к действующему возмущающему моменту, на частоте 1 с^{-1} составляет от -136 дБ до -167 дБ в зависимости от структурного решения канала компенсации на основе информации дополнительных датчиков угловой скорости и датчиков углового ускорения. Автор приводит расчетный

пример на стр.174 диссертации, в котором предложенный им способ самонастройки параметров каналов компенсации возмущающих моментов, в условиях изменяющегося комплекса влияющих факторов, позволяет в 180 раз уменьшить погрешность стабилизации от моментов сил вязкого трения в установившемся режиме. Время самонастройки параметров канала компенсации не превышает 2 с.

В четвертой главе автором разработаны структурные решения и проектировочные зависимости построения усилительно – преобразующих трактов (УПТ) чувствительных элементов (ЧЭ) ГС ИИиУС, обеспечивающие повышение динамической точности ИИиУС, устойчивый режим работы прибора, требуемое значение динамической погрешности в области рабочих частот, а также величину помехи в выходном сигнале, не превышающую заданное значение.

В пятой главе автором приведены результаты экспериментальных исследований влияния смещения нулевого сигнала и шумовых составляющих в выходном сигнале микромеханического гироскопа (ММГ) на точностные характеристики ГС. Показано, что проведение процедуры компенсации смещения нулевого сигнала позволяет не меньше, чем в восемь раз уменьшить собственный уход ГС. Автор разработал имитационную модель ГС, которая позволяет исследовать функционирование ГС в режиме стабилизации полезной нагрузки (ПН) численным методом с учетом экспериментально полученных характеристик шума в выходных сигналах ММГ. Автором разработаны структура миниатюрной многофункциональной гировертикали (ГВ) на микромеханических чувствительных элементах (ММЧЭ) с возможностью одновременного выполнения функции выработки информации об углах крена и тангажа транспортного средства и функции стабилизации и управления положением полезной нагрузки в пространстве и нелинейная математическая модель миниатюрной многофункциональной ГВ на ММЧЭ, позволяющая исследовать особенности функционирования системы. Разработан способ формирования управляющего сигнала, обеспечивающий увеличение быстродействия ГВ в режиме управления. Предложенный способ позволяет осуществить поворот платформы на угол 0,5 рад за 0,35 с при собственной постоянной времени ГВ по контуру коррекции 3,4 с. Разработаны способы повышения точности работы контуров коррекции и стабилизации многофункциональной ГВ на ММЧЭ.

В шестой главе с использованием уравнений Эйлера автором разработана математическая модель системы стабилизации ПН на динамически - настраиваемом гироскопе (ДНГ), отличающаяся от имеющихся подробным представлением возмущающих моментов в виде функций кинематических параметров качки основания и движения элементов карданова подвеса. Рассмотрены особенности математического описания ДНГ с учетом

вариативности вида передаточной функции ДНГ на низких частотах при изменении условий функционирования. Исследования выходного сигнала гироскопа позволили автору выявить частоты преобладающих составляющих помехи, которые соответствуют частоте вращения, двойной частоте вращения ротора гироскопа и нутационной частоте колебаний ротора гироскопа. Разработана способ повышения точности ГС на ДНГ.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных Малютиным Дмитрием Михайловичем в диссертации, подтверждена всесторонним анализом выполненных ранее научных работ по предмету исследования и использованием апробированного научно - методического аппарата теории автоматического управления, спектрального анализа, обработки измерительной информации. Теоретические положения диссертации не противоречат известным теоретическим положениям и подтверждаются экспериментальными исследованиями (раздел 1.2.2 диссертации). Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, внедрены в практику научных, проектных и производственных геологоразведочных работ АО «Южморгеология» г. Геленджик. Комплекс «ГРИН», реализованный с использованием научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации Малютина Д.М., сертифицирован Государственным комитетом Российской Федерации по стандартизации и метрологии (Приложение Б диссертации) и успешно применен при проведении большого объема научных исследований и производственных работ в акватории Мирового океана и на акваториях Баренцева, Азовского, Черного и Каспийского морей (раздел 1.2.2 и приложение А диссертации). Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, опубликованы в достаточном количестве публикаций и апробированы на научных конференциях высокого уровня.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

К новым научным результатам, полученным автором в диссертационной работе, можно отнести:

Структуру построения двухосного индикаторного ГС морского гравиметра, с системой коррекции настроенной на период Шулера, отличающуюся 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 обеспечивающей инвариантность ГС к линейным

ускорениям (с точностью до малой величины ε) не только при прямолинейном движении, но и при циркуляции судна и математическое описание этой структуры.

Структуру построения и математическое описание двухосного индикаторного ГС морского гравиметра повышенной точности отличающуюся от известных введенными в систему интегральной коррекции контурами 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, которые обеспечивают повышенную точность гравиметрических измерений и математическое описание адаптивных схем акселерометрической коррекции ГС морского гравиметра, а также критерии самонастройки параметров этих схем.

Структуру построения и математическую модель двухосного индикаторного ГС гравиметрического комплекса с комбинированным управлением в отличие от известных с каналами компенсации инерционных возмущающих воздействий и контурами самонастройки параметров каналов компенсации возмущающих воздействий для повышения точности ГС гравиметрического комплекса, а так же соотношения для выбора параметров каналов компенсации возмущающих воздействий, обеспечивающие наилучшее качество работы системы.

Структурные решения УПТ ЧЭ ГС ИИиУС и проектировочные зависимости, обеспечивающие повышение динамической точности работы ЧЭ.

Структуру построения и математическое описание многофункциональной ИИиУС на основе двухосной индикаторной ГВ на ММЧЭ, отличающейся от известных управлением с применением образцовых моделей контуров стабилизации и коррекции ГВ, обеспечивающей функцию стабилизации и управления положением ПН в пространстве и функцию выработки параметров ориентации подвижного основания, а также способы повышения точности многофункциональной ИИиУС на основе двухосной индикаторной ГВ на ММЧЭ.

Обобщенную математическую модель двухосного ГС ПН на ДНГ, отличающуюся от известных подробным представлением возмущений в виде функций угловых скоростей качки основания, угловых скоростей элементов карданова подвеса при переменных углах поворота рам карданова подвеса с учетом динамических связей между каналами системы и способ повышения точности двухосного индикаторного ГС ПН на ДНГ, в отличие от известных основанный на введении в УПТ каналов стабилизации, комбинации изодромного, интегро - дифференцирующего звена и трех режекторных звеньев.

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в разработанных автором математическом описании и математических моделях ИИиУС на основе ГС повышенной точности, которые не только описывают функционирование ИИиУС на основе ГС нового поколения, позволяют исследовать поведение и прогнозировать динамические характеристики системы при различных условиях эксплуатации, но и являются теоретической основой для дальнейшего совершенствования этих систем. Следует отметить, что указанные выше в первых двух пунктах результаты, обладающие научной новизной, справедливы не только для ГС морских гравиметров, но и для ГВ, решающих задачи стабилизации других типов полезной нагрузки и задачи определения параметров ориентации наземных и воздушных транспортных средств. Методики проектирования чувствительных элементов, разработанные автором, являются теоретической основой создания УПТ ЧЭ повышенной точности.

Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что они использованы в практике создания ИИиУС повышенной точности. Практическую значимость работы подтверждают 12 патентов РФ на изобретения, полученные автором по результатам диссертационного исследования. Имитационные модели ИИиУС на основе ГС облегчают процесс проектирования, позволяют сократить затраты при проектировании и обеспечить соответствие результатов проектирования требованиям технического задания.

Замечания по работе.

1. Глава 1 диссертации несколько перегружена обзорным материалом, в частности, подробным описанием устройства и принципов действия существующих ИИиУС на основе ГС для гравиметрических измерений.

2. В диссертации (стр.22) автор отмечает, что основное внимание в главе 1 уделено направлению разработки теории гиростабилизаторов информационно - измерительных и управляющих систем для гравиметрических измерений с целью повышения точности и эффективности измерений. Однако, следовало бы отметить и важность таких направлений совершенствования информационно - измерительных и управляющих систем для гравиметрических измерений, как повышение точности гравиметров, навигационного обеспечения, совершенствования методики обработки гравиметрической и навигационной информации.

3. В разделе 1.2.2. диссертации приводятся сведения о наличии двойного контура термостатирования гравиметров комплекса «ГРИН», но не упоминается каким образом решена задача термостатирования акселерометров и гироскопов гиростабилизатора комплекса «ГРИН».

4. Автор в своей работе не избежал некоторых опечаток: на стр.181 диссертации в пункте 2 выводов в словах «....случаяхсоставляют....» отсутствует пробел.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Заключение. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям. Диссертация Малютина Дмитрия Михайловича на тему «Способы повышения точности информационно - измерительных и управляющих систем на основе гиростабилизаторов» соответствует паспорту научной специальности 2.2.11. Информационно - измерительные и управляющие системы, является завершенной научно - квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения по повышению точности ИИиУС на основе ГС, являющиеся значительным вкладом в развитие ИИиУС и соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор – Малютин Дмитрий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.11. Информационно - измерительные и управляющие системы.

Официальный оппонент, доктор технических наук (специальность 1.6.9 «Геофизика», ранее 25.00.10), профессор, руководитель научного направления «Потенциальные поля» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва



Конешов Вячеслав Николаевич
« 24 » января 2025 г.

Подпись Конешова Вячеслава Николаевича
заверяю, Ученый секретарь Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института физики Земли
им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук



Лиходеев Дмитрий Владимирович
« 24 » января 2025 г.

ФИО: Конешов Вячеслав Николаевич.

Контактные данные: 123242, г. Москва, Б. Гузинская ул., д.10, стр. 1.

E-mail: direction@ifz.ru Телефон: +7(499)766-26-56.

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.
Должность: руководитель научного направления «Потенциальные поля». Ученая степень: доктор технических наук по специальности 1.6.9 «Геофизика», ранее 25.00.10. Ученое звание: профессор.

Отзыв

официального оппонента, доктора технических наук, доцента, главного специалиста отдела перспективных разработок АО Центральное конструкторское бюро аппаратостроения г. Тула Мамона Юрия Ивановича на диссертационную работу Малютина Дмитрия Михайловича, выполненную на тему «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

Актуальность темы диссертационной работы.

Информационно - измерительные и управляющие системы на основе гиросtabilизаторов (ИИиУС на основе ГС) решают задачи стабилизации полезной нагрузки (ПН) на подвижном основании, измерения параметров ориентации транспортных средств и широко применяются на практике для стабилизации гравиметрической аппаратуры при разведке полезных ископаемых, стабилизации оптической аппаратуры при обследовании труднодоступной для человека местности, обнаружении, пожарах, спасении людей при катастрофах, контроле состояния магистральных сетей и других производственных задач. К таким системам предъявляются высокие требования по точности стабилизации и ориентации в пространстве стабилизируемой аппаратуры. Однако практические погрешности таких систем на сегодняшний день превышают потенциально достижимые, поэтому научная проблема – развитие теории построения информационно - измерительных и управляющих систем повышенной точности на основе гиросtabilизаторов является актуальной и решается в диссертационном исследовании Малютина Дмитрия Михайловича. Актуальным представляется и подход к решению этой проблемы путем разработки способов повышения точности на основе принципа самонастройки параметров системы, метода комбинированного управления, метода управления с применением эталонной модели системы.

Характеристика содержания работы.

Материал диссертации изложен на 391 странице машинописного текста, включая введение, шесть глав, заключение, список литературы из 237 источников, список сокращений и условных обозначений, приложения.

Во введении Малютин Дмитрий Михайлович (далее диссертант) обосновал актуальность исследования ИИиУС на основе ГС, привел сведения об авторах и работах, которых направлены на совершенствование ИИиУС на основе ГС, определил научную проблему и цель диссертационного исследования, новые задачи исследования, сформулировал основные положения, выносимые на защиту, научную новизну полученных результатов, теоретическую и практическую значимость работы, привел сведения о внедрении и апробации результатов диссертационного исследования.

В первой главе рассмотрены ИИиУС для измерения ускорения силы тяжести Земли на основе управляемых (корректируемых) ГС, а именно: результаты

теоретических исследований, выполненных ранее, технические решения построения и технические характеристики современных образцов. Обоснована необходимость повышения достигнутой предельной точности измерений. Так как наиболее существенное влияние на точность измерений оказывает качка корабля, то важной задачей является повышение точности управляемых ГС гравиметрической аппаратуры. Диссертант решил задачу разработки эффективной структуры построения и математического описания ГС в режиме гировертикали (ГВ) с контуром интегральной коррекции, обеспечивающей высокоточную стабилизацию гравиметров, низкую чувствительность к движению транспортного средства при измерении ускорения силы тяжести, необходимое демпфирование системы и обладающей достаточной простотой при реализации и настройке. Обеспечение демпфирования собственных колебаний автономным способом является важным преимуществом при построении системы. В работе в отличие от известного способа автономного демпфирования при помощи прямой связи, охватывающей первый интегратор контура коррекции предложены более эффективные пути решения задачи. Разработана система, в которой применен полосовой фильтр в прямой связи, охватывающей первый интегратор. Выполненные расчеты доказывают, что погрешность удержания вертикали при воздействии линейного ускорения, изменяющегося по гармоническому закону с частотой 1 рад/с, в установившемся режиме в этом случае в 1000 раз меньше, чем в случае применения известного ранее способа автономного демпфирования. В диссертации рассмотрена работа системы при циркуляции судна. При этом диссертант преобразовал сигналы акселерометров из подвижной системы координат в неподвижную систему координат, где реализовал процесс интегрирования сигналов акселерометров и демпфирования собственных колебаний гировертикали и далее осуществил обратное преобразование в подвижную систему координат для управления путем подачи сигнала на датчики момента поплавковых гироскопов. Информация, необходимая для преобразований, в отличие от известных решений получена также автономным способом с использованием магнитометрических датчиков, установленных на гиросtabilизированной платформе. В результате исследований доказано, что погрешность стабилизации вертикали не превышает 1,4 угловых минут при работе на Экваторе при разворотах судна на 180° с угловой скоростью разворота 0,01 рад/с и погрешности определения курсового угла 0,5 град.

Важным теоретическим и практическим результатом исследования явилась разработанная структура и математическое описание построения инерциальной гировертикали, в отличие от известных решений устраняющая противоречие между обеспечением устойчивого режима работы автономным способом и сохранением инвариантности к движению судна с ускорением путем параметрической коррекции показаний первого интегратора системы коррекции.

Во второй главе исходя из известного положения, что при установке гравиметра на гиросtabilизированную платформу для уменьшения погрешностей измерений необходимо обеспечить высокую точность стабилизации платформы

относительно горизонта и добиться близости к нулю значения косинуса сдвига фазы между горизонтальными ускорениями качки и наклонами платформы разработаны весьма эффективные структуры построения ИИиУС на основе ГС с самонастройкой параметров и приведено их математическое описание. Значение преобладающей частоты качки определяется по сигналам чувствительных элементов ГС. Переменные параметры контура коррекции ГС рассчитываются с использованием разработанных диссертантом критериев самонастройки на основании информации о преобладающей частоте качки, при этом фазовый сдвиг между горизонтальными ускорениями качки и наклонами платформы обеспечивается точно равным -270 град, а среднее за период качки значение погрешности гравиметрических измерений из-за ускорений и наклонов гиросtabilизированной платформы на преобладающей частоте качки становится равным нулю. Эффективность предложенных структур построения ИИиУС на основе ГС подтверждается исследованиями динамики системы в условиях нерегулярной качки.

В третьей главе проведено исследование ИИиУС на основе ГС с комбинированным управлением путем объединения в одну систему замкнутой системы управления по отклонению и разомкнутой системы управления по возмущающему воздействию. В отличие от известных решений диссертант разработал структуру построения и математическую модель ГС с каналами компенсации не только моментов сил вязкого трения, но инерционных моментов, а также с контурами самонастройки параметров компенсации внешних возмущений, что существенно повышает точность стабилизации за счет использования информации о внешней ситуации. Полученные результаты особенно важны при использовании системы в условиях повышенного уровня возмущений и стабилизации полезной нагрузки большой массы.

В четвертой главе использовано положение о том, что повышение точности ИИиУС возможно за счет применения высокоточных чувствительных элементов (ЧЭ). Далее приведены результаты исследований, обеспечивающих повышенную точность чувствительных элементов ИИиУС. Диссертант разработал методики проектирования поплавкового акселерометра компенсационного типа и поплавкового гироскопа в режиме датчика угловой скорости, которые отличаются от известных учетом процессов модуляции и демодуляции полезного сигнала, обеспечением заданной величины динамической погрешности и помехи на рабочей частоте, разработал методики проектирования усилительно - преобразующих трактов микромеханических акселерометров (ММА) и волнового твердотельного гироскопа (ВТГ), расширяющие полосу пропускания и повышающие динамическую точность чувствительных элементов. С использованием экспериментального метода исследования разработана тепловая модель микромеханического гироскопа (ММГ). К достоинствам работы можно отнести математическую модель и устройство аналого - цифрового преобразователя повышенной точности с компенсацией апертурной погрешности преобразования.

В пятой главе описаны области применения малогабаритной ИИиУС на основе ГС, рассмотрены технические характеристики современных малогабаритных образцов ИИиУС, указано, что в настоящее время наблюдается некоторое отставание технических характеристик малогабаритных отечественных ГС на микромеханических чувствительных элементах (ММЧЭ) по сравнению с зарубежными. Разработана структура построения и математическое описание малогабаритной многофункциональной ИИиУС на основе ГС на ММЧЭ. В отличие от известных, данная система выполняет как функции стабилизации и управления полезной нагрузкой, так и функцию определения углов крена и тангажа транспортного средства за счет применения вычислителей, реализующих эталонную модель системы. Реализация многофункциональной ИИиУС на основе ГС позволяет снизить массу и габариты аппаратуры, решающей задачи стабилизации и управления полезной нагрузкой и определения ориентации транспортного средства. Разработанные диссертантом новые решения, позволяют повысить точность малоразмерных многофункциональных ИИиУС за счет снижения влияния шума микромеханических гироскопов на выходные характеристики системы и уменьшения составляющих погрешности от линейных ускорений качки основания. В работе получены аналитические выражения для определения параметров корректирующего устройства ГС, обеспечивающие соответствие передаточной функции ГС передаточной функции фильтра Баттерворта третьего порядка, как отношение погрешности стабилизации к линейным ускорениям основания. Теоретически обоснованные точностные характеристики ИИиУС на основе ГС на ММЧЭ подтверждены экспериментально в процессе испытаний макетного образца.

В шестой главе задача повышения точности ИИиУС на основе ГС решена путем использования в качестве чувствительного элемента ГС динамически - настраиваемого гироскопа (ДНГ). Диссертант разработал математическую модель ГС на ДНГ, отличающуюся от имеющихся учетом всего комплекса возмущающих воздействий и применением в контурах стабилизации комбинации изодромного, интегро-дифференцирующего и режекторных фильтров.

В конце каждой из глав приведены выводы по результатам исследования, в заключении сформулированы основные результаты работы и перспективы дальнейших исследований.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В соответствии с изложенной выше характеристикой диссертационной работы достоверными научными результатами, обладающими научной новизной, можно считать:

1. Структуру построения и математическое описание двухосного индикаторного ГС морского гравиметра, с системой коррекции настроенной на период Шулера, отличающуюся 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 обеспечивающей инвариантность ГС к линейным ускорениям (с точностью до малой величины ε) не только при прямолинейном движении, но и при циркуляции судна.

2. Структуру построения двухосного индикаторного ГС морского гравиметра повышенной точности отличающуюся от известных введенными в систему интегральной коррекции контурами параметрической коррекции сигнала первого интегратора для обеспечения устойчивого режима работы ГС при сохранении инвариантности к движению судна.

3. Структуры построения и математическое описание адаптивных схем акселерометрической коррекции ГС морского гравиметра, которые в отличие от известных обеспечивают повышенную точность гравиметрических измерений.

4. Структуру построения и математическую модель двухосного индикаторного ГС гравиметрического комплекса с комбинированным управлением, отличающуюся от известных наличием каналов компенсации инерционных возмущающих воздействий, а также наличием контуров самонастройки параметров каналов компенсации возмущающих воздействий для повышения точности ГС.

5. Структурные решения построения УПТ ЧЭ ГС ИИиУС и проектировочные зависимости, обеспечивающие повышение динамической точности работы ММА, ММГ, ВТГ, поплавкового акселерометра компенсационного типа и ДУС на основе поплавкового интегрирующего гироскопа.

6. Структуру построения и математическое описание многофункциональной ИИиУС на основе двухосной индикаторной ГВ на ММЧЭ, отличающейся от известных управлением с применением образцовых моделей контуров стабилизации и коррекции ГВ, обеспечивающей функцию стабилизации и управления положением ПН в пространстве и функцию выработки параметров ориентации подвижного основания. Новыми являются способы повышения точности многофункциональной ИИиУС на основе двухосной индикаторной ГВ на ММЧЭ.

7. Способ повышения точности двухосного индикаторного ГС ПН на ДНГ, основанный в отличие от известных на введении в УПТ каналов стабилизации, комбинации изотропного, интегро - дифференцирующего звена и трех режекторных звеньев и нелинейную математическую модель двухосного ГС ПН на ДНГ, отличающуюся от известных подробным представлением возмущений в виде функций угловых скоростей качки основания, угловых скоростей элементов карданова подвеса при переменных углах поворота рам карданова подвеса с учетом динамических связей между каналами.

Теоретическая значимость диссертации заключается в достаточном объеме и уровне научного вклада в разработку научного обоснования новых структур построения ИИиУС на основе ГС повышенной точности. Математическая модель ГС на ДНГ имеет положительный теоретический эффект, улучшая полноту формализации исследуемого объекта, позволяет обеспечить адекватность и достоверность моделирования. Структуры построения и математическое описание

адаптивных схем акселерометрической коррекции ГС являются методологической и теоретической базой, позволяющей исследовать, обосновывать критерии самонастройки и разрабатывать алгоритмические и программные средства для решения задачи повышения точности гравиметрических измерений. Методики проектирования ЧЭ развивают научно-методический аппарат проектирования ЧЭ повышенной точности.

Практическая значимость диссертационного исследования подтверждается востребованностью результатов исследования профильными предприятиями при создании новой техники (стр.18-19 диссертации) и образовательным учреждением высшего образования, о чем имеются три акта внедрения от трех организаций (Приложение А). Результаты диссертационного исследования нашли свое применение в гравиметрическом комплексе «ГРИН», который применен при проведении большого объема научных и производственных геологоразведочных работ.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Высокая степень достоверности и обоснованности положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждена использованием современного апробированного научно - методического и математического аппарата теории автоматического управления и теории гироскопических приборов и устройств, современных пакетов математических программ, сочетанием результатов теоретической деятельности с достаточным объемом экспериментальных исследований ИИиУС на основе ГС (раздел 1.2.2 диссертации), акселерометрической системы ориентации на основе микромеханических акселерометров (раздел 4.7 диссертации), макетного образца многофункциональной ИИиУС на основе ГС на ММЧЭ (раздел 5.17 диссертации), микромеханических гироскопов (раздел 4.6 диссертации), математическим моделированием. Достоверность положений, выводов и рекомендаций подтверждается положительной оценкой и цитируемостью публикаций по результатам диссертационной работы - это 10 статей, входящих в реферативные базы данных Web of Science и Scopus, 30 статей из перечня ВАК, 16 статей в других изданиях, 12 патентов на изобретение РФ, 2 патента на полезную модель РФ, две программы для ЭВМ, две монографии, апробацией на многочисленных научно - технических конференциях (стр.19 - 20 диссертации).

Замечания по работе.

1. В имитационных моделях ГС ИИиУС (стр.273, 309, 352 диссертации) используются звенья с линейной характеристикой и ограничением по уровню выходного сигнала. Следовало бы пояснить из каких соображений выбиралось значение ограничения в этих звеньях.

2. В разделе 5.2 диссертации «Разработка математической модели двухосного индикаторного гиростабилизатора на ММЧЭ в режиме стабилизации» можно было обойтись без ряда промежуточных преобразований.

3. В разделах 5.4, 6.2 диссертации в расчетных примерах следовало обосновать численные значения параметров качки основания.

4. В разделе 5.13 диссертации следовало указать ограничения на угол программного разворота гиросtabilизированной площадки в пространстве.

Замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

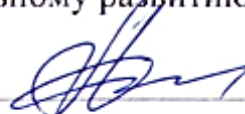
Заключение. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям. Диссертация Малютина Дмитрия Михайловича «Способы повышения точности информационно - измерительных и управляющих систем на основе гиросtabilизаторов» соответствует паспорту научной специальности 2.2.11. Информационно - измерительные и управляющие системы, является завершенной научно - квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения повышения точности ИИиУС на основе ГС, имеющие важное значение для развития ИИиУС, обладает научной новизной, теоретической и практической значимостью и соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор – Малютин Дмитрий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.11. Информационно - измерительные и управляющие системы.

Официальный оппонент, доктор технических наук (специальность 20.02.25. «Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения), доцент, главный специалист отдела перспективных разработок АО Центральное конструкторское бюро аппаратостроения, г. Тула



Мамон Юрий Иванович
« 03 » февраля 2025 г.

Подпись д.т.н., доцента, главного специалиста отдела перспективных разработок Мамона Юрия Ивановича заверяю: Заместитель генерального директора по управлению персоналом и социальному развитию



Мальцев А.И.
« 03 » февраля 2025 г.

ФИО: Мамон Юрий Иванович. Контактные данные: 300034, Россия, г. Тула, ул. Демонстрации, д.36. E-mail: dbac@cdbac.ru Телефон: (4872) 56-99-29 (доб.13-96). Место работы: АО Центральное конструкторское бюро аппаратостроения. Должность: главный специалист отдела перспективных разработок. Ученая степень: доктор технических наук по специальности 20.02.25. «Военная электроника, аппаратура комплексов военного назначения». Ученое звание: доцент.

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора, директора института нано и микросистемной техники ФГУП НИУ Московский институт электронной техники Тимошенкова Сергея Петровича на диссертационную работу Малютина Дмитрия Михайловича, выполненную на тему «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

Актуальность темы диссертационной работы

Информационно - измерительные и управляющие системы на основе гиросtabilизаторов решают задачи ориентации и навигации транспортных средств, стабилизации полезной нагрузки на подвижном основании. Научные и технические проблемы морских, наземных и воздушных информационно - измерительных и управляющих систем на основе гиросtabilизаторов связаны с разработкой и внедрением конкурентоспособных образцов датчиков первичной информации параметров движения, в том числе микромеханических и гиросtabilизаторов повышенной точности на их основе. Актуальные вопросы построения, развития и совершенствования информационно - измерительных и управляющих систем (ИИиУС) на основе гиросtabilизаторов (ГС) решаются переходом на технологии индикаторной стабилизации, применением высокоточных чувствительных элементов и безредукторных приводов компенсации возмущающих воздействий, разработкой способов повышения точности на основе перспективных структурных решений построения контуров управления гиросtabilизаторов и их математического описания. В связи с вышеизложенным тема диссертационного исследования Малютина Дмитрия Михайловича является актуальной.

Характеристика содержания работы

Диссертационная работа содержит введение, шесть глав, заключение, список литературы, список сокращений и условных обозначений, приложения. Список литературы отражает результаты научных исследований в области ИИиУС на основе ГС. Автореферат диссертации полностью отражает материал и основные положения диссертационной работы.

Во введении приведены сведения о актуальности исследования ИИиУС на основе ГС, научной проблеме и цели диссертационного исследования, о новых задачах исследования, научной новизне полученных результатов, теоретической и практической значимости работы, основных положениях,

выносимых на защиту, о внедрении и апробации результатов диссертационного исследования.

В первой главе проведен анализ существующих подходов к построению ИИиУС на основе ГС для осуществления гравиметрических измерений в движении на море с целью поиска полезных ископаемых и особенностей этих измерений. Наиболее точный класс ГС ИИиУС – это индикаторный ГС с интегральной системой коррекции, настроенной на период Шулера. Проведено исследование функционирования двухосного индикаторного ГС с интегральной системой коррекции, настроенной на период Шулера, как в виде двух независимых каналов при неизменном курсе, так и в виде двух взаимосвязанных каналов при переменном курсе и циркуляции судна. Разработана структура и математическое описание 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 обеспечивающей инвариантность ГС к линейным ускорениям с точностью до малой величины. Расчеты свидетельствуют, что при амплитуде линейных ускорений 100 Гал и частоте 1 рад/с погрешность стабилизации составляет доли угловой секунды при прямолинейном движении и 0,14 угл мин. при циркуляции судна с угловой скоростью 0,01 рад/с, если погрешность определения курсового угла составляет 3 угл.мин.

Разработан контур укоренной выставки к горизонту длиннопериодной гиравертикали.

Научной новизной обладает разработанная структура двухосного индикаторного ГС повышенной точности с интегральной системой коррекции, настроенной на период Шулера, и в отличие от известных с параметрической коррекцией показаний первого интегратора системы коррекции. Параметрическая коррекция показаний первого интегратора системы коррекции осуществляется за один шаг дискретизации и обеспечивает устойчивость ГС, а все остальное время обеспечивается абсолютная инвариантность к горизонтальным ускорениям судна и отсутствие погрешностей измерения ускорения силы тяжести Земли от горизонтальных ускорений и наклонов гиравстабилизированной платформы. Устройство индикаторного ГС с параметрической коррекцией защищено патентом РФ на изобретение за авторством Малютина Д.М.

В главе приведены результаты синтеза контра стабилизации с высокими динамическими характеристиками с учетом процессов модуляции и

демодуляции сигнала поплавкового интегрирующего гироскопа. Отмечается, что результаты синтеза электропривода ГС использованы и при создании электропривода трубопроводной арматуры.

Во второй главе разработаны новые структуры и математическое описание адаптивных схем акселерометрической коррекции ГС морского гравиметра, которые в отличие от известных обеспечивают повышенную точность гравиметрических измерений. Рассмотрены случаи гармонической и нерегулярной качки судна. Проведен анализ влияния горизонтальных ускорений качки судна и наклонов гиростабилизированной платформы на точность измерения ускорения силы тяжести в динамике. Математически сформулированы условия в виде критериев самонастройки параметров контура коррекции ГС, выполнение которых позволяет существенно повысить точность гравиметрических измерений на качке. Разработан алгоритм цифрового управления ГС с самонастройкой параметров. Адаптивные схемы акселерометрической коррекции ГС защищены тремя патентами РФ на изобретение за авторством Малютина Д.М.

В третьей главе разработана новая структура и математическая модель ГС повышенной точности с каналами компенсации не только моментов сил вязкого трения, но и инерционных моментов, а также с контурами самонастройки параметров каналов компенсации внешних возмущений. Устройство ГС повышенной точности с каналами компенсации возмущений и с контурами самонастройки параметров каналов компенсации внешних возмущений защищено патентом РФ на изобретение за авторством Малютина Д.М.

В четвертой главе решаются вопросы повышения точности чувствительных элементов ИИиУС. Разработаны методики проектирования усилительно - преобразующих трактов (УПТ) чувствительных элементов навигационного класса точности: поплавковых акселерометров и гироскопов с заданной величиной динамической погрешности измерения в области рабочих частот. Разработана математическая модель и устройство аналого цифрового преобразователя (АЦП) повышенной точности с компенсацией погрешности преобразования, обусловленной изменением сигнала за период дискретизации. АЦП повышенной точности защищен патентом на изобретение РФ за авторством Малютина Д.М.

Проведены исследования динамики менее точных, но наиболее динамично развивающихся микромеханических чувствительных элементов (ММЧЭ): микромеханических акселерометров (ММА) и микромеханических гироскопов (ММГ), обладающих малыми массой, габаритами и энергопотреблением при выполнении целевой функции, с которыми связаны перспективы современного

приборостроения. Доказано, что применение ММА позволяет уменьшить методические погрешности измерения акселерометрической системы ориентации, например волномерного буя. Теоретически обоснованы и запатентованы две схемы ММА прямого преобразования повышенной точности. Использование в алгоритме управления ГС на ММЧЭ тепловых моделей ММГ позволило уменьшить собственный дрейф ГС ИИиУС.

В пятой главе разработана новая структура и математическое описание малогабаритной многофункциональной ИИиУС на основе ГС на микромеханических чувствительных элементах (ММЧЭ), решающей одновременно задачи определения параметров ориентации транспортного средства и стабилизации и управления полезной нагрузкой (ПН). Многофункциональность достигнута путем применения образцовой модели в составе системы. Аналитические выражения для оценки влияния случайных погрешностей ММГ и ММА на точность ГС ИИиУС развивают теорию ИИиУС и являются практически значимыми. Новизна и практическая значимость многофункциональной ИИиУС подтверждается тремя патентами РФ на изобретение и одним патентом РФ на полезную модель. Имитационные модели ИИиУС на основе ГС на ММЧЭ облегчают процесс проектирования ИИиУС на основе ГС.

В шестой главе разработана нелинейная математическая модель ГС на динамически настраиваемом гироскопе (ДНГ), достоверно отражающая динамику системы в реальных условиях эксплуатации на подвижном основании. Структура УПТ контуров стабилизации, в отличие от известных, содержит комбинацию изодромного, интегро-дифференцирующего и трех режекторных фильтров, защищена патентом РФ на полезную модель и позволяет расширить полосу пропускания системы, повысить динамическую точность и шумоподавление в каналах управления. Имитационная модель позволяет найти численное решение сложной нелинейной системы дифференциальных уравнений с учетом помехи в выходном сигнале гироскопа и переменных углов поворота рам карданова подвеса в условиях трехкомпонентной качки основания.

В заключении сформулированы основные результаты работы и перспективы дальнейших исследований путем создания высокоточных ИИиУС на основе многокаскадных ГС.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Изучение и анализ материалов диссертации позволяют считать, что следующие результаты, сформулированные в диссертации, являются достоверными и обладают научной новизной:

1. 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.

2. Структура построения и математическое описание двухосного индикаторного ГС морского гравиметра повышенной точности отличается 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.

3. 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.

4. 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 гравиметрического комплекса. Соотношения для выбора параметров каналов компенсации возмущающих воздействий, обеспечивающие наилучшее качество работы системы.

5. 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 в режиме датчика угловой скорости (ДУС); акселерометров компенсационного типа и ДУС на основе поплавкового интегрирующего гироскопа (ПИГ), в

отличии 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.

6. Структура построения и математическое описание многофункциональной ИИиУС на основе двухосной индикаторной гировертикали на ММЧЭ, отличающейся от известных управлением с применением образцовых моделей контуров стабилизации и коррекции гировертикали, обеспечивающей функцию стабилизации и управления положением 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.

7. Способ повышения точности двухосного индикаторного ГС ПН на ДНГ, основанный на введении в 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, 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.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации в диссертации сформулированы на основе использования современного и апробированного математического аппарата, анализа известных и полученных в работе теоретических результатов, моделирования, эксперимента, масштабной практики эксплуатации ИИиУС на основе ГС и являются достоверными и научно обоснованными. Основные результаты диссертации изложены в 74 работах, в том числе в 10 статьях, входящих в реферативные базы данных Web of Science и Scopus, в 30 статьях из перечня ВАК, в 16 статьях в других изданиях, в 12 патентах на изобретение РФ, в двух патентах РФ на полезную модель, в двух программах для ЭВМ, в двух монографиях.

Теоретическая значимость диссертации

Теоретическая значимость диссертации заключается в теоретическом обоснования способов повышения точности ИИиУС на основе ГС с использованием принципа самонастройки, метода комбинированного управления и метода управления с применением образцовой модели. Математическое описание и математические модели ИИиУС на основе ГС, характеристика которых изложена выше в подразделе «Характеристика содержания работы» и в пунктах 1, 2, 3, 4, 6, 7 подраздела «Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации», являются теоретически значимыми, так как описывают ИИиУС на основе ГС с новым свойством - повышенной точностью относительно известных, что подтверждено их исследованием, математическим моделированием на их основе и экспериментом.

Практическая значимость диссертации

Практическая значимость работы подтверждается ее ориентацией на достижение новых научно обоснованных технических решений по повышению точности ИИиУС на основе ГС, имеющих важное значение для развития и эффективного применения ИИиУС. Теоретическое изложение материала сопровождается выполнением прикладных расчетов и решением прикладных задач. Результаты исследования использованы при выполнении грантов, проектов в рамках научно-технических программ, работ по заказам предприятий, создании и практическом применении ИИиУС на основе ГС повышенной точности и могут быть полезны проектировщикам ИИиУС на основе ГС. Практическим инструментом при проектировании ИИиУС на основе ГС являются методики проектирования УПТ чувствительных элементов и имитационные модели ИИиУС на основе ГС.

Замечания по работе

1. В диссертации в разделе 5.9 приведены технические характеристики ММГ зарубежных производителей семейства ADXRS, семейства ADIS, ДУС фирмы «Systron Donner» по технологии MEMS, но не упомянуты разработки отечественных производителей.

2. Не произведена оценка влияния вибрационных возмущений на динамические характеристики многофункциональной гировертикали на ММЧЭ.

3. Материалы диссертации в части математической модели, описывающей зависимость нулевого сигнала ММГ от температуры, следовало представить в автореферате подробнее.

Замечания не снижают общую положительную оценку работы.

Заключение. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям

Диссертация Малютина Дмитрия Михайловича на тему «Способы повышения точности информационно - измерительных и управляющих систем на основе гиросtabilизаторов» соответствует паспорту научной специальности 2.2.11. Информационно - измерительные и управляющие системы, является завершенной научно - квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические решения по повышению точности ИИиУС на основе ГС, являющиеся значительным вкладом в развитие ИИиУС и соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор – Малютин Дмитрий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.11. Информационно - измерительные и управляющие системы.

Официальный оппонент, доктор технических наук по специальности 05.27.06. Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники, профессор, директор института nano и микросистемной техники ФГУП НИУ МИЭТ



Тимошенко Сергей Петрович
30 января 2025 г.

Подпись Тимошенкова Сергея Петровича
заверяю, Ученый секретарь ФГУП НИУ МИЭТ



Козлов Антон Викторович
30 января 2025 г.

ФИО: Тимошенко Сергей Петрович.

Контактные данные: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д.1.

E-mail: spt111@mail.ru Телефон: +7 (499) 720-87-68.

Место работы: ФГУП НИУ Московский институт электронной техники, Институт nano и микросистемной техники. Должность: директор. Ученая степень: доктор технических наук по специальности 05.27.06. Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники. Ученое звание: профессор.