



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
Тел. (499) 263-63-91 Факс (499) 267-48-44
E-mail: bauman@bmstu.ru
ОГРН 1027739051779
ИНН 7701002520 КПП 770101001

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –
проректор по научной работе,
д.т.н., профессор

В.Н. Зимин



07 мая 2019 г.

№ _____
на № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

Шишакова Константина Валентиновича

«Теоретические основы, методы, модели и алгоритмы для разработок многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении и приборостроении), 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике).

Актуальность

Актуальность диссертационной работы для науки и практики связана с реализацией стратегических целей в освоении космического пространства (дальнего и околоземного) и обусловлена современными тенденциями увеличения апертур крупногабаритных оптических телескопов для наблюдения за ним в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах длин волн.

Такое увеличение размеров крупноапертурной оптики до 10 и более метров для наблюдения дальнего космического пространства, как автоматизированных систем научных исследований, выполняется с одновременным облегчением всей оптико-механической конструкции телескопов. Ее подверженность эксплуатационным микродеформациям требует разработок уникальных многосистемных комплексов наведения, состоящих из широкого списка активных систем управления.

Для повышения точности наведения больших наземных телескопов в их состав включают: многоконтурные системы управления электроприводами уг-

ИжТУ
имени М.Т. Калашникова
«22» 05 2019 г.
Вх. № 1698/01-29

лового слежения всем телескопом, корректирующие каналы слежения вторичными и другими зеркалами в оптическом тракте, низкочастотные системы пространственно распределенной активной компенсации эксплуатационных аберраций оптической схемы (системы активной оптики), высокочастотные системы пространственно-временной коррекции искажений волнового фронта в турбулентной атмосфере (системы адаптивной оптики), а также другие вспомогательные управляемые элементы, устройства и системы.

В свою очередь, для повышения точности наведения больших орбитальных телескопов в комплекс наведения включают высокоточные системы пространственной ориентации космического аппарата, корректирующие каналы слежения вторичными или другими зеркалами в оптическом тракте, низкочастотные системы активной оптики и другие вспомогательные управляемые элементы, устройства и системы.

Тенденции расширения состава комплексов наведения с одновременными требованиями повышения эффективности активных и адаптивных систем пространственно-временного управления предполагают увеличение размерностей распределенных обратных связей в активных и адаптивных оптических системах, расширение возможностей управления, усложнение контуров и алгоритмов управления в комплексах наведения, а также обеспечение эффективной интеграции систем управления в оптико-механические комплексы наведения не только отдельных больших телескопов, но и их групп (интерферометров, оптических систем с разнесенными апертурами и других).

Актуальность разработок и создания новых проектов уникальных больших высокоэффективных оптических телескопов и совершенствования существующих проектов телескопов подчеркивает актуальность разработок их комплексов многосистемного наведения, работающих в диапазоне сверхвысоких оптических точностей. Особенно это актуально для отечественного крупногабаритного оптического телескопостроения, отстающего в настоящее время от развития зарубежных проектов.

Таким образом, проблема повышения качественных и эксплуатационных показателей функционирования разрабатываемых и создаваемых уникальных сверхбольших оптических телескопов (наземных и орбитальных) за счет увеличения интегрального потенциала от улучшения характеристик и взаимодействия модульных систем управления, объединяющихся в их настраиваемые многосистемные комплексы наведения, является актуальной проблемой, имеющей важное хозяйственное значение.

Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, девяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы – 327 страниц, включая 71 рисунок.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования и степень ее разработанности. Изложены цель диссертационной работы, объект, предмет и задачи исследования, отмечено соответствие темы диссертации требованиям паспорта специальности ВАК. Показана научная новизна ра-

боты, перечислены методы исследований, представлены достоверность и обоснованность результатов диссертации. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Указаны практическая значимость, реализация и внедрение результатов, апробация работы на научных форумах, основные публикации и личное участие автора в проведении диссертационного исследования.

Выделены современные тенденции развития больших оптических телескопов, включая: 1) увеличение приемных апертур наземных телескопов до 10 и более метров; 2) объединение оптических систем в информационные комплексы с переменной многовариантной структурой и широким списком решаемых задач и потенциальных возможностей; 3) создание и выведение больших оптических телескопов (с апертурой до 6 и более метров) за пределы земной атмосферы и на удаленные космические орбиты; 4) доработку отлаженных на земле решений по управляемой оптике для применения в космосе; 5) использование облегченных конструкций и новых технологий; 6) расширение состава используемых активных и адаптивных систем пространственно-временного управления; 7) преобразование активных главных и вторичных зеркал, а также ряда других активных оптических элементов в разряд адаптивных (через расширение их полос временных частот от низких и средних до высоких); 8) повышение размерностей обратных связей в активных и адаптивных оптических системах (с расширенными возможностями управления); 9) усложнение систем и алгоритмов управления в составе комплексов наведения; 10) повышение интеграционной эффективности систем управления в составе оптико-механических комплексов наведения отдельных телескопов и их групп.

Первая глава является обзорной и посвящена рассмотрению объектов и проблемы исследования. В ней дается обобщенная характеристика современных эксплуатируемых и разрабатываемых больших оптических наземных и орбитальных телескопов, имеющих многосистемные комплексы наведения, перечисляются критерии получаемой оптической информации, кратко описываются параметры входящих в них модульных систем управления для конкретных конструктивных реализаций уникальных проектов телескопов. По результатам обзора систематизированы современные требования и достигнутые параметры систем наведения больших оптических телескопов, а также определены основные принципы синтеза таких комплексов наведения. Глава завершается постановкой проблемы исследования и определением направлений ее решения в соответствии с поставленными задачами.

Во второй главе предложена методологическая основа для разработок многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов. Она опирается на проведение временной и пространственной частотных декомпозиций условий функционирования телескопов. Это позволило конкретизировать постановку задач системного анализа, синтеза, оптимизации и управления модульными системами в составе комплексов многосистемного наведения больших оптических телескопов. Рассмотрен состав и дана общая характеристика комплекса, выделены модульные системы и режимы управления, выполнено их пространственно-временное частотное разделение. При этом все мо-

дульные системы комплекса разделены на системы общего слежения, корректирующего слежения, активной оптики, адаптивной оптики и обеспечивающие.

Третья глава посвящена построению и исследованию аналитических и имитационных моделей для сопровождения разработок управляемых элементов модульных систем слежения в составе комплексов наведения больших оптических телескопов. В ней рекомендованы методики компьютерного анализа таких элементов и предложена методика идентификации их деформируемых моделей, приведены низкочастотные модели следящего телескопа в альт-азимутальной монтировке, разработаны среднечастотная и высокочастотная модели управляемого по наклонам вторичного зеркала большого телескопа, выполнено моделирование динамических свойств управляемого по наклонам упругого диагонального третичного зеркала с обратной связью, рассмотрены модели плавной стабилизации космического аппарата вместе с орбитальным телескопом.

Четвертая глава посвящена разработке и исследованию моделей объектов управления для модульных систем коррекции волнового фронта в составе комплексов наведения больших оптических телескопов. Исправляя соответствующие эксплуатационные оптические аберрации, они одновременно повышают и интегральную эффективность всего комплекса наведения.

Для разных вариантов пространственно-распределенной обратной связи выполнено моделирование управляемых деформаций главных зеркал телескопов для разработки модуля активной оптики, приведены модели гибких зеркал для компенсации влияния атмосферной турбулентности в составе модуля адаптивной оптики, предложены системы организации дополнительной оптической обратной связи для управления волновым фронтом.

Пятая глава посвящена разработке и исследованию моделей и алгоритмов управления высокоточными моментными электроприводами, как наиболее важной системы общего слежения больших наземных телескопов. Она включает координатную увязку следящего телескопа с космическими объектами наблюдения для обоснованного задания технических требований к электроприводам альт-азимутальной монтировки телескопа, упрощенную методику расчета предварительных проектных требований к электроприводам слежения для наблюдения низкоорбитальных объектов в околоземном пространстве, модели высокоточных трехконтурных электроприводов и синтез контуров управления ими в условиях возмущений. Дополнительное введение в модели детализации основных конструктивных упругих элементов и электрических параметров контуров обратных связей, а также вариантов внутренних и внешних возмущений позволяет выявлять производственные и эксплуатационные факторы, потенциально приводящие к ухудшению точности углового слежения.

Шестая глава посвящена твердотельным волновым гироскопам, как наиболее важному измерительному средству в системе общего наведения больших орбитальных телескопов, работающих в режимах длинных временных экспозиций при наблюдениях слабых звездных источников (когда замыкание обратных связей по оптическому сигналу ошибки уже не удовлетворяет частоте контура угловой стабилизации космического аппарата с телескопом). В ней предложены имитационные модели для сопровождения разработок, изготовления и эксплуа-

тации высокоточных твердотельных волновых гироскопов, выполнено исследование факторов и алгоритмов, влияющих на точность их измерительных сигналов. Среди них исследованы модели временного дрейфа сигнала с учетом влияния контуров внутреннего управления, приведены варианты алгоритмов формирования сигналов в измерительном устройстве, а также выполнен анализ технологических факторов, потенциально ухудшающих их точность.

Седьмая глава посвящена структурно-параметрическому синтезу многосистемных комплексов слежения больших оптических телескопов. Синтез проведен отдельно для наземных и орбитальных больших телескопов. Сначала в главе предложен низкочастотный синтез алгоритмов управления всем следящим телескопом, как формирующий требования к следующим ступеням многосистемного наведения телескопа. Одним из критериев выбрано уменьшение создаваемых инерционных нагрузок на деформируемую конструкцию большого телескопа, включая системы корректирующего наведения. Далее для больших наземных телескопов предложены и обоснованы варианты режимов и структур взаимодействия модульных систем слежения с ориентацией на повышение автономности их разработки и настройки. Для них предложена методика выбора и согласование параметров синтезируемых регуляторов в многосистемных комплексах слежения. Предложенная методология структурно-параметрического синтеза применена также к большим орбитальным телескопам, включая синтез структур, режимов и алгоритмов управления. Для них дополнительно исследовано влияние параметров измерительных средств на настройку структуры комплекса двухсистемного наведения.

В восьмой главе выполнено прогнозирование эффективности разрабатываемых модульных систем в комплексах слежения больших оптических телескопов. Сначала исследовано влияние эксплуатационных факторов, возмущений и конструктивных параметров электродвигателей на эффективность отслеживания всем наземным телескопом орбитального космического объекта в околоземном пространстве. Далее исследованы возможности повышения точности наведения орбитального оптического телескопа с помощью управления вторичным зеркалом для практически важных случаев с низкочастотным (накапливаемым на интервалах экспозиции) оптическим сигналом ошибки. Замыкание обратной связи по такому сигналу понижало частоту контура слежения. Предложенный вариант высокочастотного восстановления сигнала ошибки наведения потенциально позволил повысить частоту контура обратной связи с сохранением высокой эффективности слежения.

В девятой главе предложена, разработана и исследована цельная система взаимно-дополняющих методов настройки и оптимизации модульных систем коррекции волнового фронта, направленная на интегральное повышение эффективности комплексов многосистемного наведения больших оптических телескопов для задач проведения автоматизированных научных исследований. Среди них выделены: кластеризация и прореживание приводов управления для оптимизации пространственной структуры системы коррекции волнового фронта, оптимизация градиентных методов коррекции волнового фронта по функционалам интенсивности светового поля, оптимизация систем адаптивной атмосфер-

ной оптики с обратной связью по волновому фронту, а также анализ новых возможностей систем управления волновым фронтом при введении контуров оптической обратной связи. В рамках оптимизации градиентных методов коррекции волнового фронта по функционалам интенсивности светового поля рассмотрены построение градиентного управления при слабом световом сигнале и ускорение градиентных алгоритмов пространственно распределенного управления формой гибких зеркал. А в рамках оптимизации систем адаптивной атмосферной оптики с обратной связью по волновому фронту проведены оптимизация пространственных форм компенсации атмосферной турбулентности и синтез алгоритмов модального управления гибкими зеркалами с настройкой на корреляционные свойства атмосферных аберраций.

В заключении приведены основные научные и практические результаты диссертационной работы.

Список использованных источников включает 344 работы.

В приложениях представлены акты внедрения научных и практических результатов диссертационного исследования.

Анализ содержания позволяет сделать вывод о достижении поставленной цели и решении основных и частных задач диссертационного исследования.

Научная новизна

Анализ научных результатов диссертации позволяет сделать вывод о том, что автору удалось развить теоретические основы, методы, модели и алгоритмы для разработок многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов.

Разработанные методология, формализованные подходы, модели, методы и алгоритмы формируют новые возможности по улучшению проектных и эксплуатационных показателей функционирования больших оптических телескопов (наземных и орбитальных) за счет использования интегрального потенциала их многосистемных комплексов наведения.

В результате получены следующие новые научные результаты:

1. Методология для сопровождения разработок многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов, основывающаяся на их пространственной и временной частотной декомпозиции и взаимно увязывающая методы, модели и алгоритмы разработок составных модульных систем управления, призванных интегрально обеспечить проектную эффективность создаваемых больших телескопов в условиях эксплуатационных микродеформаций их оптико-механических конструкций.

2. Система моделей модульных систем слежения с учетом влияния допусков технологических погрешностей изготовления их элементов и конструкций для интеграции в распределенные комплексы наведения больших оптических телескопов (наземных и орбитальных).

3. Система моделей модульных систем коррекции волнового фронта с контурами управления распределенной обратной связью, включая оптическую обратную связь, для интеграции в распределенные комплексы наведения больших оптических телескопов (наземных и орбитальных).

4. Система взаимно дополняющих моделей и алгоритмов управления прецизионными электроприводами с учетом влияния упругих деформаций их элементов, а также внутренних микропульсаций и электромагнитных возмущений, для выбора конструктивных и электромеханических параметров, обеспечивающих требуемую эффективность наведения больших наземных оптических телескопов в опорно-поворотном устройстве.

5. Система моделей формирования сигналов твердотельных волновых гироскопов для комплексов наведения больших орбитальных оптических телескопов, позволяющая в процессе их производства уточнить влияние на выходные сигналы технологических допусков изготовления, а также алгоритмов управления внутренними волновыми процессами.

6. Методы и алгоритмы для проведения структурно-параметрического синтеза многосистемных комплексов слежения больших оптических телескопов (наземных и орбитальных) по критериям минимизации эксплуатационных деформаций их облегченных конструкций, ориентированные на автономность процессов по созданию и начальной настройке модульных систем при сохранении их интегрального единства и согласования для достижения требуемой эффективности наведения.

7. Комплексные модели, позволившие исследовать влияние алгоритмов и параметров систем управления, а также внешних и внутренних возмущающих факторов на эффективность двухсистемного слежения большими оптическими телескопами.

8. Система взаимно дополняющих методов настройки и оптимизации модульных систем коррекции волнового фронта, призванных в совокупности повысить интегральную эффективность больших оптических телескопов.

Научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в 70 печатных работах, среди которых одна монография без соавторов, одно учебное пособие без соавторов, 44 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ рецензируемых научных изданий, из которых 17 работ выполнены соискателем лично, остальные в соавторстве.

Практическая значимость

Теоретические и прикладные результаты проведенных исследований сформировали комплексный подход к сопровождению разработок многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов и позволили решить широкий круг практических задач повышения их эксплуатационных показателей на всех этапах жизненного цикла.

В том числе, разработанные модели, алгоритмы и методики могут быть использованы при создании полных имитационных компьютерных моделей («цифровых двойников»), требующихся для сопровождения разработок и эксплуатации больших оптических телескопов. Они также окажутся полезными для повышения эффективности подсистем и элементов комплексов наведения, включая многоконтурные системы управления электроприводами углового слежения всем телескопом, корректирующие каналы слежения вторичными и другими зеркалами в оптическом тракте, низкочастотные системы пространственно

распределенной активной компенсации аберраций оптической схемы, высокочастотные системы пространственно-временной коррекции искажений волнового фронта в турбулентной атмосфере, а также другие вспомогательные управляемые элементы, устройства и системы.

Приведенные в диссертации результаты в разной мере были востребованы в практических работах, выполненных с участием автора в Институте космических исследований АН СССР (г. Москва), СКБ физического приборостроения АН СССР (г. Троицк Московской области), НПО «Астофизика» (г. Москва), Физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова, Международном лазерном центре при МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Физико-техническом институте АН Туркменистана (г. Ашхабад), Институте Астрономии РАН (г. Москва), НПО им. Лавочкина (г. Москва), научно-техническом центре «НТЦ «Восход» (г. Ижевск).

Практическая значимость также подтверждается внедрениями результатов диссертационного исследования в Физико-техническом институте Уральского отделения РАН (г. Ижевск), на АО «Ижевский электромеханический завод «ИЭМЗ «Купол» (г. Ижевск), на АО «Ижевский механический завод «ИМЗ», в ЗАО «Научно-производственный центр «НПЦ «Техинформ» (г. Королев), а также использованием в учебном процессе ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова» (имеются акты об использовании результатов исследований и внедрения).

Достоверность и обоснованность

Достоверность и обоснованность полученных в диссертационной работе результатов и выводов обеспечены использованием апробированных научных положений и методов исследования, корректном применении математического аппарата, сертифицированных программ моделирования, согласованностью новых результатов с известными. Они не противоречат теоретическим и практическим результатам, известным из научных публикаций. Подтверждаются результатами апробации, внедрения и экспериментальной проверкой отдельных теоретических положений.

Соответствие специальности

Тема и содержание диссертации соответствуют паспорту научной специальности 05.13.06:

- пункт 7 – «Методы совместного проектирования организационно-технологических распределенных комплексов и систем управления ими»,
- пункт 20 – «Разработка автоматизированных систем научных исследований»,

И паспорту научной специальности 05.13.01:

- пункт 2 – «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»,
- пункт 7 – «Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем»,
- пункт 9 – «Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов».

Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. В нем с достаточной полнотой изложены основные идеи и выводы диссертации, показаны вклад автора в проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследований. Приведенный список публикаций автора отражает основные научные результаты диссертации. Стиль изложения диссертации и автореферата в целом соответствуют нормам научной лексики.

Ценность, полезность и значимость результатов диссертационной работы. Ценность, полезность и значимость результатов диссертационной работы состоит в создании автором методологической основы для повышения проектных и эксплуатационных показателей функционирования разрабатываемых и создаваемых уникальных больших оптических телескопов с многосистемными комплексами наведения. Они также будут полезны при анализе и нейтрализации чрезвычайных ситуаций, возникающих в случаях непредвиденного эксплуатационного ухудшения работы отдельных подсистем управления или их элементов, помогая в поиске вариантов выхода из таких ситуаций, включая реструктуризацию комплекса наведения и его режимов управления.

Предложенные и обоснованные положения в совокупности развивают новое перспективное научное направление разработки, создания и интегральной оптимизации высокоточных многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов (наземных и орбитальных) на основе подсистем управления ограниченной точности по исполнительным и измерительным средствам. Одновременно обосновываются разумные требования к качеству технологических процессов сопровождения разработок, производства и предэксплуатационной настройки таких модульных активных подсистем и их элементов.

Замечания по диссертации

1. В обзоре нет анализа недостатков известных телескопов и связанных с ними проблем, в связи с чем слабо обоснован выбор задач исследования.

2. Глава 6 выделяется на общем фоне работы степенью проработки и возникают сомнения в корректности включения ее в диссертацию. Как итог, выводы по главе 6 не несут новой информации, а отражают точку зрения автора на работу и точность ТВГ. По главе есть многочисленные замечания, основные из которых следующие:

- нет цитирования первоисточников, в частности, литература по ТВГ не содержит ссылок ни на одну работу ученых, указанных в автореферате (Журавлев В.Ф., Климов Д.В., Жбанов Ю.К.) за исключением 2-х ссылок на монографии Лунина Б.С. и Матвеева В.А. с соавторами; нет ни одной ссылки на зарубежные разработки; Присутствует большое количество самоцитирований автора;

- задача 6 (ей посвящена глава 6): «Разработка моделей и алгоритмов для интеллектуальной поддержки проектирования и производства твердотельных волновых гироскопов повышенной точности»; неясно, какие конкретно модели

и алгоритмы предлагаются, чего именно они позволяют достичь, и как улучшится точность ТВГ; отсутствуют конкретные примеры, демонстрирующие полезный результат;

- никак не обоснован выбор ТВГ для построения систем ориентации орбитальных телескопов и режима работы ТВГ; по-существу лишь описывается функционирование ТВГ и факторы, влияющие на его точность, что не имеет признаки новизны;

- в выводе 1 (стр.184) автор утверждает, что точность гироскопического датчика является важнейшим фактором, определяющим точность угловой стабилизации КА; однако, это же самое утверждение фигурирует в предисловии к главе 6 (стр. 159), т.е. введенный в начале постулат перешел в выводы; вывод о предпочтении использования ТВГ в режиме датчика угла не основан на каком-либо анализе, и является позицией автора, сформулированной в начале этой главы (стр. 161); утверждение автора об уменьшении в этом режиме систематического дрейфа ничем не подтверждено;

- в выводе 2 (стр. 184) утверждается, что разработанные модели позволяют интеллектуально поддерживать процессы изготовления и калибровки высокоточных ТВГ; в работе нет примеров использования подобных моделей, в связи с чем нельзя оценить их эффективность;

- содержащееся в выводе 3 (стр. 185) утверждение: «Дрейф выходного сигнала ТВГ определяется в первую очередь технологическими погрешностями, приводящими к несовершенству внутренних волновых процессов. Поэтому в производственных условиях требуется всемерно уменьшать технологические неточности конструктивных параметров, приводящие к разночастотности и разнороботности резонатора» представляется очевидным, а потому и ненужным;

- вывод 4 содержит утверждение, о том, что неравномерность по углу масштабного коэффициента выходного сигнала зависит от технологических погрешностей его измерительного устройства, которые могут быть алгоритмически скомпенсированы в процессе калибровки; это соображение верное, но далеко не новое; в монографии [Лунин Б.С., Матвеев В.А., Басараб М.А. Волновой твердотельный гироскоп. Теория и технология. – М.: Радиотехника, 2014/ С. 125] приведен график, где показана ошибка определения угла ориентации стоячей волны из-за погрешностей углового расположения электродов съема и различия в коэффициентах передачи усилителей; есть и другие статьи по этому вопросу;

- на стр. 166 автор утверждает, что систематический дрейф объясняется появлением малой паразитной квадратурной стоячей волны. Квадратура действительно вызывает дрейф, однако он носит случайный, а не систематический характер в силу случайного характера упомянутой паразитной квадратурной волны; в работе почти ничего не говорится об основном источнике возникновения систематического дрейфа, а именно о наличии в реальном резонаторе собственных осей вязкости с различными временами затухания; механизм возникновения систематического дрейфа раскрыт в работах Линча, Журавлева и др. и в настоящее время общепринят;

- на стр. 169 (рис. 6.4б) автор приводит примеры зависимости дрейфа от температуры, однако отсутствуют комментарии о причинах этого температурного дрейфа, появления (по мнению автора) постоянной составляющей дрейфа и производной дрейфа;

- утверждение автора о совпадении оси жесткости и разнородности (а такой оси вообще нет) не соответствует общепринятым теориям и введено без всяких доказательств;

- некорректное выражение: «малошумящий алгоритм обработки сигнала» (стр.177);

- на стр. 181 автор вводит термин «эксплуатационная добротность», не объясняя, чем он отличается от обычной добротности;

- в таблице на стр.182 добротность выражена в минутах (очевидная опечатка); использован термин «несистематический дрейф», автор не объясняет, чем несистематический дрейф отличается от случайного, кроме того, в таблице приведена скорость такого дрейфа, а не сам дрейф;

- на этой же странице автор утверждает, что «С увеличением размера резонатора систематический дрейф измерительного сигнала и его шумы обычно уменьшаются, так как ослабляется влияние технологических погрешностей. Так, для отечественных ТВГ на постоянном токе с диаметром резонатора 50 мм получались добротность $5 \cdot 10^6$, частота $3 \cdot 10^3$ Гц, дрейф – менее 0.4 0/час. В зарубежных высокотехнологических ВТГ дрейф в ряде случаев уменьшают до $10^{-3} - 10^{-4}$ 0/час»; известно, что зарубежные ТВГ имеют диаметр 20-30 мм, так что из приведенных данных следует как раз обратная картина: уменьшение диаметра резонатора улучшает их точность; если автор думает иначе, то приведенный пример неудачен. Снова здесь термином «дрейф» автор пользуется для описания скорости дрейфа.

Необходимо подчеркнуть, что почти все указанные замечания относятся к главе 6, в связи с чем они не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Использование результатов диссертационного исследования целесообразно при обосновании, разработке и реализации наукоемких проектов по созданию эффективных активных модульных систем наведения больших оптических телескопов различного назначения, а также включающих их многосистемных комплексов наведения.

Создаваемые на их основе имитационные модели рекомендуются для повышения эффективности процессов сопровождения изготовления и эксплуатации многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов на всех этапах их жизненных циклов. Это позволит расширить возможности принятия решений при сопровождении разработок и территориально распределенного изготовления основных элементов многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов, а также повысить точность прогнозирования эксплуатационной эффективности наземных и орбитальных больших оптических телескопов с таким многосистемным наведением.

Заключение

Диссертация Шишакова Константина Валентиновича «Теоретические основы, методы, модели и алгоритмы для разработок многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

В работе обоснованы научные положения, выводы и заключения, достоверность и новизна полученных результатов.

Содержание диссертации соответствует поставленной цели исследования.

Некорректных заимствований имеющимися средствами в рассматриваемой диссертационной работе не выявлено.

Основные научные результаты диссертационного исследования получены автором самостоятельно, которые в достаточной мере отражены в публикациях в рецензируемых научных изданиях.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней (утверждено Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 в ред. от 02.08.2016г.), которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор Шишаков Константин Валентинович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении и приборостроении), 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике).

Отзыв обсужден и одобрен на совместном семинаре № 01/2019 26.04.2019 ведущими специалистами кафедр «Системы автоматического управления», «Лазерные и оптико-электронные системы», «Информационная безопасность», НИЧ Научно-учебного комплекса «Информатика и системы управления» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана».

Заведующий кафедрой «Лазерные и оптико-электронные системы, д.т.н., профессор  / Н.В. Барышников /

Зам. заведующего кафедрой «Системы автоматического управления», к.т.н., доцент  / А.В. Фомичев /

Заведующий кафедрой «Информационная безопасность», д.ф.-м.н., профессор  / М.А. Басараб /