

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора
Кудряшова Алексея Валерьевича
на диссертацию Шишакова Константина Валентиновича
«Теоретические основы, методы, модели и алгоритмы для разработок
многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов»,
представленную 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 темы исследования

Диссертационная работа доцента ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, кандидата физико-математических наук Шишакова Константина Валентиновича посвящена актуальному направлению в современном крупногабаритном телескопостроении, а именно, разработке многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов с учетом специфики наземных и космических условий их базирования и эксплуатации. Обеспечение эффективной работы таких телескопов в условиях деформируемости их оптико-механических конструкций и нестационарных внешних возмущений неразрывно связано с использованием все более расширяющегося списка систем наведения, активной и адаптивной оптики. Технологическая сложность и сверхвысокая чувствительность каждой из таких систем и их элементов в настоящее время сформировали целые области специализированных научных исследований и уникальных инженерных разработок. В представленной диссертационной работе автор предпринял, на мой взгляд, успешную попытку системно объединить эти направления для достижения и раскрытия интегрального эффекта от совместной работы разных систем управляемой оптики. Это в настоящее время актуально, особенно с точки зрения разработки автоматизированных систем научных исследований ближнего и дальнего космического пространства.

Современная потребность в комплексном проектировании, создании, настройке и эксплуатации многосистемного наведения больших оптических телескопов подчеркивает необходимость научного обоснования и развития теоретических основ, методов, моделей и алгоритмов для разработок всего комплекса



наведения и его составных систем, особенно с учетом высокой стоимости таких уникальных проектов.

Тенденции расширения состава комплексов наведения с одновременными требованиями повышения эффективности активных и адаптивных систем пространственно-временного управления, увеличения размерностей распределенных обратных связей в активных и адаптивных оптических системах, расширения возможностей управления, усложнения контуров и алгоритмов управления в комплексах наведения, а также обеспечения эффективной интеграции систем управления в оптико-механические комплексы наведения актуализируют исследования и составных систем комплексов наведения.

В итоге можно утверждать, что исследованная в диссертационной работе проблема повышения качественных и эксплуатационных показателей функционирования разрабатываемых и создаваемых уникальных сверхбольших оптических телескопов наземного и космического расположения 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 для отечественного крупногабаритного телескопостроения. А полученные научные и практические результаты имеют большое значение для проведения научных и прикладных исследований во многих предметных областях.

Оценка содержания диссертации

Общий объем представленной диссертационной работы – 327 страниц, включая 71 рисунок. Она состоит из введения, девяти глав, заключения, списка литературы и приложения с актами внедрения и использования результатов диссертационной работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования и степень ее разработанности. Изложены цель и задачи диссертационной работы, отмечено соответствие темы диссертации требованиям паспорта специальности ВАК, описаны объект и предмет исследования, обоснованы научная новизна, теоретическая и практическая значимости, перечислены методы исследования. Рассмотрены вопросы достоверности полученных результатов. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обоснованию и выделению проблемы исследования в современном крупногабаритном телескопостроении и конкретизации направлений ее решения в соответствии с поставленными задачами. Для этого выполнена систематизация параметров и характеристик и требований в

многосистемных комплексах наведения современных эксплуатируемых и разрабатываемых больших оптических телескопов наземного и космического расположения. Определены основные принципы синтеза таких комплексов наведения.

Во второй главе заложена методологическая основа системного проектирования многосистемных (многоканальных) комплексов наведения больших оптических телескопов на основе пространственно-временной частотной декомпозиции условий функционирования телескопов. В главе сформулированы и детализированы задачи системного анализа, синтеза, оптимизации и управления модульными системами в составе комплексов многосистемного наведения больших оптических телескопов. Выделенные модульные системы комплекса разделены на системы общего слежения, корректирующего слежения, активной оптики, адаптивной оптики.

Третья глава посвящена моделям объектов управления основных систем слежения в составе комплексов наведения больших оптических телескопов. В них выделены важнейшие конструктивные факторы, что предназначены для сопровождения разработок таких систем. В качестве аналитических моделей приведены низкочастотные модели следящего телескопа в альт-азимутальной монтировке, модели подвешенного на штанге и управляемого по наклонам вторичного зеркала большого телескопа и низкочастотные модели плавной стабилизации космического аппарата вместе с орбитальным телескопом. Предложенная методика получения высокочастотных моделей позволяет учесть детальную проработку механических конструкций в современных САПР. Она реализована на примере высокочастотной модели управляемого по наклонам вторичного зеркала большого телескопа. Расширение модели путем включения контура активного демпфирования резонансных колебаний приведено для управляемого по наклонам третичного пластинчатого зеркала.

Четвертая глава посвящена моделям объектов управления основных систем коррекции волнового фронта в составе комплексов наведения больших оптических телескопов. Выполнено моделирование управляемых деформаций главных зеркал телескопов для разработки модулей активной оптики, приведены модели гибких зеркал для компенсации влияния атмосферной турбулентности в составе модулей адаптивной оптики, предложены системы организации дополнительной оптической обратной связи для управления волновым фронтом. Последние системы с оптической обратной связью потенциально позволяют уменьшить лучевую нагрузку на лазерные пучки подсвета целей в околоземном пространстве, а также ослабить требования по создаваемым фазовым искажениям в оптических усилителях.

Пятая глава посвящена электроприводам слежения большого оптического телескопа по углам азимута и высоты в опорно-поворотном устройстве. Их

отдельное исследование объясняется большой важностью этой первой ступени наведения для больших наземных телескопов, от точности которой зависит синтез остальных корректирующих систем слежения. В главе приведены методики формирования предварительных проектных требований к электроприводам слежения, построены модели высокоточных трехконтурных электроприводов и выполнен синтез контуров управления ими в условиях возмущений. Уточнение моделей путем учета конструктивных упругих элементов и расширенного списка электрических параметров в контурах обратных связей позволяют повысить точность прогнозирования такого слежения в условиях внутренних и внешних возмущений.

Шестая глава, в свою очередь, посвящена гироскопическому измерителю угловой ориентации большого космического телескопа, в качестве которого исследован твердотельный волновой гироскоп, обладающий повышенной надежностью для космического использования. Его точность будет принципиально ограничивать точность многоканального наведения космического телескопа при наблюдении слабых световых объектов, требующих удлиненные интервалы временной экспозиции для формирования оптического сигнала ошибки. Исходя из этой значимости проведено углубленное исследование влияния внутренних факторов и погрешностей твердотельного волнового гироскопа на его выходной измерительный сигнал. Приведенные модели и исследования соответствуют технологическим процессам создания, настройки и совершенствования таких гироскопов на Ижевском Электро-Механическом Заводе «Купол».

В седьмой главе заложены основы методологии структурно-параметрического синтеза многосистемных комплексов слежения больших оптических телескопов, определяющего, в том числе, законы взаимодействия и взаимовлияния составных систем слежения. Такой синтез проводится с учетом критерия уменьшения создаваемых инерционных нагрузок на деформируемую конструкцию большого телескопа, включая системы корректирующего наведения. Для больших наземных телескопов предложены и обоснованы варианты режимов и итерационных структур взаимодействия модульных систем слежения с ориентацией на повышение автономности их разработки и настройки. В диссертации синтез проведен на упрощенных моделях объектов управления для наглядности методологии и уменьшения числа важнейших синтезируемых параметров. В дальнейшем предполагается «тонкая» настройка полученных результатов на уточненных конечно-элементных моделях, сопровождающих изготовление элементов комплекса. Предложенная методология структурно-параметрического синтеза контуров управления многосистемных комплексов слежения также применена к большим космическим оптическим телескопам. Для них дополнительно

показано влияние характеристик измерительных средств на настройку структуры комплекса двухсистемного наведения.

Восьмая глава посвящена моделированию влияния конструктивных факторов и параметров с целью прогнозирования точности разрабатываемых модульных систем слежения в комплексах наведения больших оптических телескопов. Исследованы факторы, влияющие на эффективность первой ступени слежения большого наземного оптического телескопа, включая конструктивные параметры электродвигателей и внешние возмущения.

Исследованы также важнейшие параметры, определяющие точность двухсистемного слежения космического оптического телескопа для практически важных задач наведения по слабым звездным источникам, характеризующимся понижением частоты выдачи оптического сигнала ошибки. В традиционной постановке задачи синтеза управления вторичным зеркалом её удалось выполнить только с пониженной частотой обратной связи. Для повышения же частоты предложен и исследован вариант высокочастотного восстановления сигнала ошибки наведения, показавший свою эффективность.

Девятая глава посвящена разработке комплексной методологии оптимизации эффективности многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов. В ней предложена и научно обоснована система важнейших методов настройки модульных систем коррекции волнового фронта. Такие методы могут быть использованы не только на этапах разработки и создания больших телескопов с многосистемным наведением, но и на этапе их эксплуатации, при проведении автоматизированных научных исследований. Среди них: кластеризация и прореживание приводов управления для оптимизации пространственной структуры систем коррекции волнового фронта, оптимизация градиентных методов коррекции волнового фронта по функционалам интенсивности светового поля, оптимизация систем адаптивной атмосферной оптики с обратной связью по волновому фронту, построение градиентного управления активными зеркалами при слабом световом сигнале, потенциальные возможности контуров оптической обратной связи ослабить требования к лучевой стойкости гибких зеркал и к фазовым флуктуациям в оптических усилителях.

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.

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

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, является высокой и обеспечена использованием апробированных научных положений и методов исследования, корректном применении математического аппарата, сертифицированных программ моделирования, согласованностью новых результатов с известными; непротиворечивостью с научными публикациями; подтверждением результатами апробации, внедрения и экспериментальной проверкой отдельных теоретических положений.

Степень обоснованности также подтверждается широким представлением научных положений, выводов и рекомендаций в научных изданиях и на научных конференциях. А основные результаты были получены на основе опыта многолетнего участия автора в различных отечественных проектах (входящих, в том числе, в Федеральные программы). На некоторые из них указывают акты внедрения и использования результатов диссертационной работы в ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова», в ФТИ УрО РАН (г.Ижевск), на АО «ИЭМЗ «Купол» (г. Ижевск), на АО «ИМЗ» (г. Ижевск), в ЗАО «НПЦ «Техинформ» (г. Королев).

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

Научные положения, выводы и рекомендации диссертационного исследования Шишакова К.В. обладают высоким уровнем новизны и достоверности.

Новизна сформулированных научных положений неразрывно связана с новым системным взглядом на разработку многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов, реализованном в разработке теоретических основ, методов, моделей и алгоритмов таких комплексов и их составных систем управления.

Можно согласиться с выделенными автором в диссертационной работе и ее автореферате следующими пунктами новизны, рассматривая полученные автором научные результаты как новые и существенные.

1. Методология для сопровождения разработок многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов, основывающаяся на их пространственной и временной частотной декомпозиции, которая позволяет взаимно увязать методы, модели и алгоритмы разработок составных модульных систем управления в рамках общей задачи интегрального обеспечения проектной

эффективности 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.

Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, также подтверждена опубликованием автором 68 печатных работах, среди которых:

- одна монография без соавторов объемом 264 стр;

- одно учебное пособие без соавторов объемом 346 стр;
- 8 статей в журналах, индексируемых в международных базах цитирования Web of Science и Scopus;
- 44 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ рецензируемых научных изданий, из которых 17 работ опубликованы соискателем лично, остальные в соавторстве.

Практическая значимость и полезность научных и прикладных результатов, полученных в диссертации

Практическая значимость и полезность научных и прикладных результатов, полученных в диссертации Шишакова К.В. относится к разработке автоматизированных систем научных исследований ближнего и дальнего космического пространства. Показанные возможности и направления повышения качественных и эксплуатационных показателей функционирования разрабатываемых и создаваемых уникальных сверхбольших оптических телескопов наземного и космического расположения за счет увеличения интегрального потенциала от улучшения характеристик и взаимодействия модульных систем управления, объединяющихся в их настраиваемые многосистемные комплексы наведения, имеют практическую значимость и полезность, особенно для отечественного крупнобаритного телескопостроения.

Разработанные в диссертационном исследовании К.В.Шишакова модели, алгоритмы и методики будут востребованы:

- при разработке и настройке многосистемных комплексов наведения больших наземных оптических телескопов и их модульных систем;
- при разработке и настройке многосистемных комплексов наведения больших космических оптических телескопов и их модульных систем;
- при создании сопровождающих имитационных компьютерных моделей – «цифровых двойников» больших оптических телескопов (как наземных, так и космических), с целью прогнозирования и обеспечения проектной точности и повышения общей рентабельности разработок;
- для новых разработок, совершенствования и модернизации 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;

- для поиска путей восстановления и раскрытия интегрального потенциала многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов при эксплуатационном ухудшении характеристик составных систем управления и их элементов.

Замечания по диссертационной работе

1. Автором сформулировано большое число защищаемых положений, выносимых на защиту. Их целесообразно было бы уменьшить, используя обобщающие формулировки.
2. Предлагаемая диссертация, посвященная многосистемному наведению больших оптических телескопов (наземных и орбитальных), опирается на достаточно большое число самостоятельных научных направлений автоматического регулирования, точной оптики и механики, телескопов, электроприводов, твердотельных волновых гироскопов и других. При их системном объединении в рамках разработки прикладной теории больших управляемых оптических телескопов автором в диссертации не всегда использован исчерпывающий список ссылок на первоисточники, перенесены некоторые из них в свои книги без указания в диссертации.
3. В диссертации автором не уделено внимание эффективному классу биморфных адаптивных зеркал, широко применяемому в адаптивных системах компенсации атмосферной турбулентности и фокусировки интенсивного лазерного излучения.

Необходимо отметить, что указанные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Шишакова Константина Валентиновича «Теоретические основы, методы, модели и алгоритмы для разработок многосистемных комплексов наведения больших оптических телескопов» является самостоятельной и законченной 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.

Анализ содержания диссертации позволяет сделать вывод о достижении автором поставленной цели и решении основных и частных задач диссертационного исследования. Диссертация написана в форме, позволяющей получить

достаточно ясное представление о целях, задачах, методах и результатах проведенных автором исследований.

Сформулированные автором выводы и заключения обоснованы, а их достоверность и новизна не вызывают сомнения.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации, в нем с достаточной полнотой изложены основные идеи и выводы диссертационной работы, степень новизны и практическая значимость результатов исследований.

Диссертационная работа удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней (утверждено Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 с изменениями, утвержденными Постановлением Правительства РФ № 335 от 21.04.2016 г.), 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).

Официальный оппонент,
заведующий лабораторией Атмосферной адаптивной оптики ФГБУН «Институт Динамики Геосфер» РАН, доктор физико-математических наук, (специальность 01.04.21 – лазерная физика), профессор



Кудряшов Алексей Валерьевич

« 16 » мая 2019 года

Подпись Кудряшова Алексея Валерьевича удостоверяю:
начальник отдела кадров ИДГ РАН




С.В. Борисова

16.05.2019