ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Зубова Андрея Александровича

«Разработка и исследование оптико-электронной системы измерения параметров движения в задачах биомеханики», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы

Диссертационная работа **Зубова Андрея Александровича** посвящена важной задаче разработки оптико-электронной измерительной системы (ОЭС) с радиусом действия до 15 м, для определения положения в пространстве объектов с размерами, характерными для человеческого тела, а также их частей, в режиме реального времени.

Актуальность темы исследования

Принцип работы оптико-электронных систем измерения параметров движения заключается в измерении расстояния до точек динамического объекта. Полученная информация может использоваться для построения 3D-моделей самого объекта и его положения в пространстве, причем расстояние между точками самого объекта также может меняться (например, в случае антропоморфных объектов). Другими словами, такие системы проводят 3D-сканирование движущихся объектов и могут справляться и с задачами биомеханики, направленными на 3D- сканирование животных или человека. Самое широкое применение такое сканирование находит в игровой и киноиндустрии, где оптико-электронные устройства могут применяться наряду с системами других типов. Сравнительно недавно ОЭС стали применяться в спортивной сфере, для анализа движений спортсменов и создания обучающих спортивных программ. В этой сфере ОЭС имеют неоспоримые преимущества. Одним из самых серьезных недостатков таких систем является их небольшой радиус действия. В связи с изложенным выше, в диссертации Зубова А. А., целью которой является разработка и

исследование оптико-электронной системы измерения параметров движения в задачах биомеханики, обладающей увеличенным радиусом действия по сравнению с существующими аналогами, решается актуальная научно-техническая задача, важная для целого ряда приложений.

Диссертация состоит из введения, заключения, четырех глав, списка литературы и четырех приложений.

Первый раздел содержит аналитический обзор существующих технологий измерения параметров движения с помощью ОЭС; в нём также дается обоснование выбора технологии структурированной подсветки для разрабатываемой системы. Кроме этого, в данном разделе описаны способы кодирования светового шаблона структурированной подсветки и обосновывается выбор пространственного метода его реализации, оптимального применительно к требуемым условиям работы систем измерения параметров движения в задачах биомеханики.

Второй раздел диссертации посвящен рассмотрению модели системы автоматического управления масштабом виртуального шаблона. Здесь автором описана функциональная схема ОЭС измерения параметров движения человека в задачах биомеханики, проведено обоснование выбора модели и её упрощение, выполнен структурный анализ аналоговой части системы автоматического управления виртуальным масштабированием и представлены результаты построения программы-симуляции для реализации такой системы.

В третьем разделе описывается сама ОЭС измерения параметров движения в задачах биомеханики с использованием структурированной подсветки с виртуальным шаблоном. Зубовым А.А. сформулированы общие требования для ОЭС измерения параметров движения человека со структурированной подсветкой с виртуальным шаблоном, представлены алгоритм изменения масштаба шаблона такого типа и принципиальная оптическая схема ОЭС, проведены расчеты её габаритных и энергетических характеристик. Им также выполнен расчет величины допустимой остаточной

расфокусировки и проведен анализ составляющих погрешности измерения системой параметров движения человека.

Четвертый раздел диссертации посвящен исследованию работоспособности предлагаемой автором ОЭС измерения параметров движения человека. Здесь автором сначала перечислены этапы исследования и описаны условия эксперимента, а также представлено теоретическое обоснование используемой модели приемной оптической системы. Далее рассмотрен практический этап, для которого приведены сведения о полученном материале, используемом для обработки и анализа полученных снимков изучаемого объекта и о результатах такой обработки, выполнены оценки работоспособности ОЭС и погрешности измерения ею расстояния до точки объекта. В заключительном **подразделе 4.4** Зубовым А.А. проведено сравнение полученных результатов с существующим образцом аналогичного устройства, представляющего ОЭС с системой Кинект, позволившее сделать вывод о том, что увеличение расстояния до объекта до 15 м не приводило для исследуемой ОЭС к значительному падению точности измерения расстояния, в отличие от аналогов.

В заключении подведены итоги выполненного исследования, даны рекомендации, отмечены перспективы использования подобных систем для некоторых приложений.

Новизна полученных результатов, научных положений, выводов и рекомендаций

Все основные результаты работы, сделанные по ним выводы и рекомендации, а также выносимые на защиту научные положения, являются новыми. Среди наиболее значимых результатов, полученным в ходе проведенного Зубовым А.А. диссертационного исследования, представляется целесообразным отметить:

- разработку оригинальной оптико-электронной системы измерения параметров движения в задачах биомеханики, превосходящей современные аналоги по дальности действия;

- применение виртуального шаблона структурированной подсветки, имеющей способность автомасштабирования.

Достоверность полученных результатов, научных положений, выводов и рекомендаций

- подтверждается корректным использованием автором современных представлений об ОЭС и известного программного обеспечения, позволяющего провести разработку системы измерения параметров движения, её моделирование и обработку полученных результатов на высоком уровне; согласованностью результатов расчетов и моделирования с экспериментальными данными;

- обеспечивается применением известных методов исследования и измерения характеристик ОЭС.

Научная, теоретическая и практическая значимость полученных в работе результатов

Результаты проведенного исследования представляют собой заметный вклад в разработку ОЭС измерения параметров движения в задачах биомеханики, заключающийся, в частности, в использовании оригинального алгоритма изменения масштаба изображения виртуального шаблона. Полученные Зубовым А.А. результаты расширяют область практического применения ОЭС измерения параметров движения, основанных на использовании структурированной подсветки, а увеличение дальности действия до 15 м открывает возможности для применения таких ОЭС, кроме спортивных приложений, в игровой и киноиндустрии, в системах безопасности и медицине. Изученные им закономерности, а также разработанные модели, вносят значительный вклад в теорию ОЭС измерения параметров движения.

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

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации Зубова А.А., базируется на адекватном

использовании предшествующих результатов, достаточном объеме корректных экспериментальных исследований, теоретических расчетов в рамках принятых приближений и грамотном применения методов численного моделирования.

В числе **недостатков диссертации** отмечу следующие.

1. Рассматриваемые в диссертации замкнутые системы автоматического регулирования (см. подразделы 2.2 – 2.4) при некоторых условиях могут перейти в режим самовозбуждения. Однако вопросам устойчивой работы разработанной и исследованной ОЭС измерения параметров движения автором диссертации уделяется минимальное внимание только в подразделе 2.4, где приведено неравенство, связывающее период дискретности с частотой среза АЧХ (стр. 51), и говорится о возможном увеличении коэффициентов усиления пропорциональных звеньев 3, 4 и 5 (стр. 52), с отсылкой к рисунку без указания номера. Судя по смыслу, речь идет о рис. 40, но из текста на стр. 52 складывается впечатление, что автор ссылается здесь на рис. 41. Достаточно ли выполнения только приведенного неравенства для обеспечения устойчивости данной системы, включающей и нелинейные элементы? Какими следует выбирать коэффициенты усиления указанных звеньев?
2. Оформление рисунков, на которых приведены различные функциональные зависимости, не соответствует общепринятым правилам. Как правило, на них отсутствуют единицы измерения, и о значении величин, отложенных по осям абсцисс и ординат, можно только догадываться (см., например, рис. 28, 29, 31, 33 – 35, 40, 41, и др.).
3. Хотя текст диссертации написан хорошим грамотным языком, в нём очень велико количество различного рода погрешностей его оформления. Особенно это режет глаз при оформлении математических выражений и пояснения используемых обозначений.

Например, в формуле (1) на стр. 37 после математического выражения не поставлена точка, в формуле (2) на стр. 38 пропущена запятая, в (3) на стр. 39 – точка, и так далее, по всему тексту. В формуле (34) на стр. 49, видимо, автор требуемую запятую поставил, но не там, где следует, а без всяких пробелов перед словом «где», и такой подход к тексту продолжается и на последующих страницах.

Заключение

В диссертации последовательно излагаются все основные результаты, что позволило автору обосновать выводы по работе и положения, выносимые на защиту. Диссертация Зубова А.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития страны. Она характеризуется внутренним единством структуры, основанным на последовательном и комплексном решении проблемы разработки ОЭС измерения параметров движения в задачах биомеханики. Полученные в ней результаты свидетельствуют об их соответствии поставленной цели и задачам.

Недостатки, отмеченные выше, не влияют на общую положительную оценку работы, которая является исследованием, выполненным на высоком научном и техническом уровне, вносящим весомый вклад в разработку ОЭС различного назначения.

Текст диссертации соответствует как по содержанию, так и по качеству материалам, опубликованным автором в 3 печатных работах, в том числе в 2 статьях в научных журналах из перечня ВАК.

Автореферат соответствует всем требованиям ВАК Минобрнауки РФ, правильно и полно отражая основное содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Зубова Андрея Александровича «Разработка и исследование оптико-электронной системы измерения параметров движения в задачах биомеханики» полностью соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о

присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в редакции от 01.10.2018 г.) (пп. 9 – 14), а её автор, Зубов Андрей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.07 – Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой электронных приборов
Томского государственного университета
систем управления и радиоэлектроники,
доктор физико-математических наук (01.04.03 – Радиофизика),
профессор по кафедре электронных приборов

_____ Шандаров Станислав Михайлович
тел.: +7 (3822) 41-38-87
e-mail: stanislavshandarov@gmail.com

«20» ноября 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (просп. Ленина, 40, Томск, Томская область, 634050, тел.: +7(3822) 51-05-30, e-mail: office@tusur.ru, https://www.tusur.ru)

Подпись заведующего кафедрой, доктора физико-математических наук, профессора Станислава Михайловича Шандарова УДОСТОВЕРЯЮ:

Секретарь Ученого совета ТУСУР – Е.В. Прокопчук

Сведения об официальном оппоненте:

Адрес электронной почты: stanislavshandarov@gmail.com

Контактный телефон: 89138139471

Ученая степень: доктор физико-математических наук.

Ученое звание: профессор по кафедре электронных приборов

Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация:

01.04.03 –Радиофизика

Место работы:

ФГБОУ ВО "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

634050, г. Томск, пр. Ленина, 40.

Телефон (3822) 51-05-30

Должность: заведующий кафедрой "Электронные приборы"

Основные публикации

1. **Shandarov S.M.** Electrically controllable diffraction of light on periodic domain structures in ferroelectric crystals / S.M. Shandarov, E.N. Savchenkov, M.V. Borodin, A.E. Mandel, A.R. Akhmatkhanov, V.Ya. Shur // Ferroelectrics. – 2019. – Vol. 542. – P. 58-63.
2. Макаревич А.В. Шепелевич В.В., **Шандаров С.М.** Выходные характеристики смешанных голограмм в кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$ среза (110). Теория и эксперимент / А.В.Макаревич, В.В. Шепелевич, **С.М. Шандаров** // Журнал технической физики. – 2017. – Т. 87, № 5. – С. 766–771.
3. Сим Е.С. Анализ оптического пропускания кристалла силиката висмута при временной модуляции зондирующего излучения по длине волны / Е.С. Сим, М.Г. Кистенева, Т.А. Журин, **С.М. Шандаров** // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2019. – Т. 62, № 1. – С. 117–123.
4. Буримов Н.И. Амплитудная характеристика адаптивного интерферометра, использующего встречное взаимодействие в

кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$ среза (100) / Н.И. Буримов, **С.М. Шандаров**, С.С. Шмаков, А.А. Шмидт // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 11/3. – С. 68–72.

5. Шепелевич В.В. Зависимости дифракционной эффективности фоторефрактивных голограмм от толщины образца и ориентационного угла в кристалле $Bi_{12}SiO_{20}$ среза (`1`1 0) / В.В. Шепелевич, А.В. Макаревич, **С.М. Шандаров**, П.И. Ропот, А.Е. Загорский // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2015. – Т. 58, № 10. – С. 74–79.
6. Макаревич А.В. Экспериментальное исследование ориентационной зависимости дифракционной эффективности пропускающих голограмм от толщины кристалла $Bi_{12}SiO_{20}$ / А.В. Макаревич, В.В. Шепелевич, П.И. Ропот, В.Н. Навныко, **С.М. Шандаров** // Письма в Журнал технической физики. – 2015. – Т. 41, № 19. – С. 46–54.
7. Мамбетова К.М. Агрегирование диэлектрических наночастиц на X-срезе кристалла $LiNbO_3$:Cu электрическими полями фоторефрактивных голограмм / К.М. Мамбетова, **С.М. Шандаров**, А.И. Татьянников, С.В. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2019. – Т. 62, № 4. – С. 89–93.
8. **Шандаров С.М.** Способ определения электрооптического коэффициента оптических кристаллов с высокой электропроводностью / **С.М. Шандаров**, В.И. Быков, К.П. Мельник // патент на изобретение RUS 2604117 01.06.2015.

Правильность сведений о профессоре С.М. Шандарове УДОСТОВЕРЯЮ:

Секретарь Ученого совета Прокопчук Е.В.