

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.02 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (МАИ)  
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНОБРНАУКИ РФ) ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 28.04.2015 № 15

О присуждении Косолапову Илье Алексеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Маршрут автоматизации системного проектирования микрооптоэлектромеханических систем» по специальности 05.13.12 – «Системы автоматизации проектирования (в электронике, радиотехнике и связи)» принята к защите 17.02.2015, протокол №10, диссертационным советом Д 212.125.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» («МАИ») Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки РФ), почтовый адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, дом 4, созданным приказом Минобрнауки России № 714 /нк от 02.11.2012.

Соискатель Косолапов Илья Алексеевич 1988 года рождения. В 2011 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский Государственный Технический Университет им.Н.Э.Баумана по специальности «Проектирование и технология производства ЭА» (кафедра ИУ-4 «Проектирование и технология производства ЭА» МГТУ им.Н.Э.Баумана).

С июня 2011 года по июнь 2014 года обучался в аспирантуре ФГБОУ ВПО МГТУ им.Н.Э.Баумана, а так же с 2012 года соискатель работает в должности ассистента в научно-учебном комплексе факультета «Информатики и систем управления».

Диссертация выполнена на кафедре ИУ-4 «Проектирование и технология производства ЭА» факультета «Информатики и систем управления» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский Государственный Технический Университет им.Н.Э.Баумана.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, профессор, Зинченко Людмила Анатольевна, профессор кафедры ИУ-4 «Инфокоммуникации» «Проектирование и технология производства ЭА» МГТУ им.Н.Э.Баумана.

**Официальные оппоненты:**

1.Топорков Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная техника» Московского энергетического института (технического университета) (МЭИ), 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14.

2. Козлов Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, и.о. ведущего научного сотрудника ОАО «Российские космические системы», 111024, Москва, ул. Мельникова, д. 29.

Оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им.В.И.Ульянова(Ленина) (г. Санкт-Петербург) (ФГАОУ ВО СПбГЭТУ «ЛЭТИ») в своем положительном отзыве, подписанном доктором технических наук, профессором, Виктором Анатольевичем Тупиком, заведующим кафедрой «Микрорадиоэлектроники и технологии радиоаппаратуры» СПбГЭТУ «ЛЭТИ» **указала, что** область исследований соискателя актуальна, диссертация обладает научной новизной, а полученные результаты достоверны. В отзыве **подчеркнута практическая ценность** диссертации, заключающаяся в возможности применять полученные в рамках данной диссертационной работы результаты при проектировании современных телекоммуникационных систем.

По содержанию диссертации Косолапова Ильи Алексеевича **ведущей организацией были отмечены следующие замечания:**

1. Из текста диссертации не ясно, насколько можно распространить разработанные модели и методы на другие конструкции. Однако для каждой новой конструкции придется изменять матричные уравнения в среде Matlab и редактировать разработанную на языке APDL программу, что может представлять сложность для неопытного пользователя.

2. Не приведены экспериментальные исследования в части анализа оптических и электрических характеристик.

3. Рис. 3.6 – 3.13 не несут информации кроме частоты, поэтому было бы логичнее представить эту информацию в виде таблицы.

При этом отмечено, что приведенные замечания не умаляют результатов выполненных исследований. Диссертация представляет собой самостоятельную

завершенную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Косолапов Илья Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – «Системы автоматизации проектирования (в электронике, радиотехнике и связи)».

**Соискатель имеет 11 опубликованных работ** по теме диссертации (6 без соавторов и 5 в соавторстве с Шахновым В.А., Зинченко Л.А. и др.). Общий объем публикаций 5,1 печатный лист. В числе данных работ 3 опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК и 1 публикация в издании, входящим в библиографическую и реферативную базу данных SCOPUS. В данных публикациях описываются алгоритм адаптации построения сетки конечных элементов механической подсистемы, построение математических моделей механической, оптической и электронной подсистемы, оценивается ресурсоемкость задач междисциплинарного моделирования, а также предлагаются маршрут и алгоритм, позволяющие повысить вычислительную эффективность математического моделирования микрооптоэлектромеханических систем.

#### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Шахнов В.А., Зинченко Л.А., Косолапов И.А., Особенности многомасштабного моделирования микрооптоэлектромеханических систем с учетом технологических погрешностей // «Датчики и системы»: "Сенсидат-Плюс". М., №9. 2013 г. С.29-34.
2. Кальнов В.А., Косолапов И.А. Методы повышения выхода годных при производстве микромеханических инерциальных датчиков//«Наноинженерия»: Научно-техническое издательство "Машиностроение". М., 2011. №2. С.23-26.
3. Зинченко Л.А., Косолапов И.А. Методы моделирования микрооптоэлектромеханических подсистем// «Наука и образование»: электронное научно-техническое издание «Наука и образование». М., 2011 г.

#### **Публикации в международной библиографической базе данных SCOPUS:**

1. Зинченко Л.А., Косолапов И.А., Simulation of Distributed MOEMS for Smart Environments // Моделирование распределенных МОЭМС для «умных» сред // IEEE, ASDAM 2014, Словакия, Смоленице, 2014, с.206-210, DOI 10.1109/ASDAM.2014.6998679, SCOPUS 2-s2.0-84921739895.

#### **На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

От **Топоркова Виктора Васильевича** (официальный оппонент). Отзыв заверен начальником управления кадров МЭИ Е.Ю.Барановой.

### **Замечания:**

1. Предложенная архитектура системы сопряжения программных комплексов ANSYS и MATLAB с использованием разработанных модулей представляется не вполне обоснованной (глава 2). Для перехода между подсистемами различной физической природы используется язык многоаспектного моделирования VHDL-AMS. Модель механической подсистемы конвертируется в VHDL-AMS при помощи пакета ROMTool программного комплекса ANSYS. Автор утверждает, что для генерации моделей оптической и электронной подсистем на языке VHDL-AMS используются утилиты комплекса MATLAB. Однако аспект реализации этих моделей остается за рамками изложения. Не ясным представляется назначение модуля взаимодействия программных комплексов ANSYS и MATLAB на языке C++ (рис. 2.14), поскольку соответствующие средства имеются в VHDL-AMS.

2. Язык VHDL-AMS определен во временной области и не содержит определения поведения в частотной области. Не ясно, каким образом решается задача нахождения собственных частот механической подсистемы после построения ее конечно-элементной модели.

3. Не ясно, какое отношение сети Петри и Интернет вещей, упоминание которых приводится в главе 1 (разделы 1.3,1.4), имеют к многоаспектному моделированию МОЭМС.

4. Неполным представляется обзор публикаций по применению языка VHDL-AMS при проектировании систем, содержащих компоненты различной физической природы.

При этом подчеркнута, что «отмеченные недостатки, в целом, не снижают высокого уровня работы».

От **Козлова Дмитрия Владимировича** (официальный оппонент).

### **Замечания:**

1. Основной акцент в работе сделан на возможность моделирования процессов различной физической природы, однако экспериментальные данные показаны только в части механической подсистемы, не достаёт экспериментальных данных по оптической и электронной подсистемам.

2. Из текста диссертации не ясно, почему при проведении эксперимента была взята заведомо известная геометрия акселерометра, что было источником информации для выбора именно таких геометрических характеристик и по какому принципу они выбирались.

3. В главе 4 представлена методика оптимизации сетки конечных элементов в зависимости от степени деформации различных областей модели, однако подобные

решения существуют, например, в таких программных продуктах как SolidWorks Simulation (адаптация сетки на основе решения). Так как не проведены обзор и сравнение подобных методов, то не понятно, чем разработанный метод выделяется среди других.

4. При сравнении в главе 4 конечно-элементной модели механической подсистемы акселерометра, построенной с использованием стандартных средств ANSYS и модели, построенной по предложенному методу оптимизации сетки, приводятся различные типы конечных элементов для каждого метода, что не корректно, так как разрабатываемый метод предполагает лишь изменение размеров элементов в зависимости от степени деформации, а не их типа.

5. К формальным замечаниям можно отнести отсутствие в диссертации таблицы 4.7, на которую есть ссылка в тексте, и тот факт, что не все экспериментальные графики имели подписи осей, что затрудняет их «чтение».

При этом подчеркнута, что «несмотря на указанные замечания диссертационная работа Косолапова Ильи Алексеевича заслуживает положительной оценки».

Из **Нижегородского государственного технического университета им.Р.Е.Алексеева, кафедры «Компьютерные технологии в проектировании и производстве»**. Отзыв положительный. Отзыв подписан профессором кафедры «Компьютерные технологии в проектировании и производстве», д.т.н., проф., Никулиным Сергеем Михайловичем.

**Замечание:**

1. Не показана полная структура микрооптоэлектромеханического акселерометра на основе интерферометра Фабри-Перо.
2. Не приведено описание технологического процесса производства механической подсистемы и рекомендации по коррекции отдельных этапов для повышения выхода годных.

Из **ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет»**. Отзыв положительный. Отзыв подписан заведующим кафедрой «Конструирование и производство радиоаппаратуры» д.т.н., профессором Николай Кондратьевич Юрков. Отзыв заверен ученым секретарем Ученого совета к.т.н., доцентом Дорофеевой О.С.

**Замечание:**

Не проанализирована возможность распространения разработанного маршрута математического моделирования на различные области электроники.

Из **ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет»**. Отзыв положительный. Отзыв подписан д.т.н., профессором, заведующим кафедрой

«Информационные системы», первым проректором – проректором по научной работе Ярушкиной Надеждой Глебовной.

**Замечание:**

В работе маршрут автоматизации системного проектирования микрооптоэлектромеханических систем было бы целесообразно называть методикой, так как маршрут автоматизации строится на основе предложенных алгоритмов.

Из **ФГБОУ ВПО НИУ «Тамбовский государственный технический университет»**. Отзыв положительный. Отзыв подписан заведующим кафедрой «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции», доктором технических наук, профессором Чернышовым Владиславом Николаевичем. Отзыв заверен начальником управления кадровой политики Выжимовой Т.И.

**Замечание:**

Не дано описание особенностей построения математических моделей оптической и электронной подсистем.

Из **ПАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С.Брука»**. Отзыв положительный. Отзыв подписан ученым секретарем, к.т.н., профессором Красовским Виктором Евгеньевичем.

**Замечания:**

1. Модули оптимизации сетки конечно-элементной модели существуют, например, в SolidWorks и в ANSYS (в Workbench есть параметризация по параметру количества элементов сетки). Непонятно, чем они хуже разработанного и почему их нельзя использовать.

2. Пункт 1.4 диссертации посвящен понятию «интернет вещей» и лишь немного затрагивает тему микрооптоэлектромеханических систем. Логичнее было бы в данной главе подробно рассказать о применении рассматриваемых акселерометров (не только в рамках концепции «интернета вещей»), переместив «смежное» понятие «интернет вещей» на второй план.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** наличием у оппонентов публикаций по профилю диссертации за последние 5 лет, а у ведущей организации передового опыта разработок в области многомасштабного междисциплинарного моделирования.

**Диссертационный совет отмечает**, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **Разработан** маршрут автоматизации системного проектирования микрооптоэлектромеханических систем. Алгоритм позволяет сократить затраты

времени и ресурсов на проведение междисциплинарного математического моделирования механической, оптической и электронной подсистем, получить в результате структуру МОЭМ системы и зависимость выходных характеристик от точности воспроизведения параметров механической подсистемы;

- **предложена** математическая модель оптической подсистем на основе матричных уравнений, выведено матричное уравнение для интерферометра Фабри-Перо;
- **доказано** сокращение времени получения структуры МОЭМ системы и уменьшение ресурсоемкости решения задачи математического моделирования МОЭМС;
- **доказано** влияние точности воспроизведения параметров механической подсистемы на собственные частоты механической подсистемы и на выходные характеристики разрабатываемого устройства.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован** аппарат дискретной математики и математического анализа, а также теории алгоритмов. Кроме того, для получения новых результатов использовалось имитационное моделирование в среде MATLAB/Simulink и программном комплексе ANSYS;
- **изложен** маршрут автоматизации системного проектирования микрооптоэлектромеханических систем;
- **изложена** методика проведения экспериментов математической моделью механической подсистемы;
- **установлена** зависимость выходных характеристик от точности воспроизведения параметров механической подсистемы.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- **разработана и внедрена в учебный процесс МГТУ им.Баумана** программная реализация модуля адаптации сетки конечных элементов для программного комплекса ANSYS на языке программирования APDL;
- **определены** перспективы и область применения предложенного маршрута автоматизации системного проектирования микрооптоэлектромеханических систем;

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **для экспериментальных работ** было проведено исследование математической модели механической подсистемы с применением стандартных средств построения

сетки конечных элементов и получения математической модели на языке формального описания VHDL-AMS и сравнение с результатами математического моделирования с использованием разработанного алгоритма адаптации построения сетки конечных элементов;

- **теория** подтверждается результатами сравнительного анализа с существующими решениями задач подобного типа, а так же сравнением затрат ресурсов на проведение математического моделирования с применением разработанного маршрута и без;
- **использовано** обоснованное сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;
- **использовалось** современное программное обеспечение для проведения математического моделирования, а так же методики сбора и анализа результатов экспериментальных исследований.

**Личный вклад соискателя** состоит в разработке алгоритма адаптации механизма построения сетки конечных элементов программного комплекса ANSYS, разработке математической модели оптической подсистемы, позволяющих повысить вычислительную эффективность математического моделирования механической подсистемы и рациональнее использовать ресурсы памяти, а также разработан маршрут автоматизации системного проектирования микрооптоэлектромеханических систем на примере микрооптоэлектромеханического акселерометра на основе интерферометра Фабри-Перо. Разработанный алгоритм был реализован в программном коде на C++ лично соискателем для последующей связи программных комплексов ANSYS и Matlab. Для отладки и апробации внедряемого кода соискателем разработаны математические модели в MATLAB/Simulink и ANSYS.

Также соискатель лично подготовил все результаты научных исследований к опубликованию и выступлениям на конференциях.

Диссертационный совет отмечает, что диссертация Косолапова Ильи Алексеевича на тему «Маршрут автоматизации системного проектирования микрооптоэлектромеханических систем» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей научную новизну и практическую ценность. Работа соответствует паспорту специальности 05.13.12 – «Системы автоматизации проектирования (в электронике, радиотехнике и связи)» и отвечает критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

На заседании 28.04.2015 года диссертационный совет принял решение присудить Косолапову И.А. ученую степень кандидата технических наук. При проведении тайного

радиотехнике и связи)», участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за **12**, против **нет**, недействительный **1**.

Председатель диссертационного совета Д 212.125.02  
д.т.н., профессор



Шевцов В.А.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.125.02  
к.т.н., доцент

Петраков А.М.