

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.075.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
МАШИНОВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 24.09.2020 г., протокол № 12
о присуждении **Федотову Александру Васильевичу**, гражданину
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация « Гашение колебаний в распределенных упругих системах с использованием пьезоэлектрических сенсоров и актуаторов» по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)» принята к защите 24 марта 2020 года (протокол заседания № 11) диссертационным советом Д002.075.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 199178, Санкт-Петербург, Большой пр. В.О., д. 61, в соответствии с приказом о создании диссертационного совета № 930/нк от 14 июля 2016 года Министерства образования и науки Российской Федерации.

Соискатель Федотов Александр Васильевич, 1991 года рождения, в 2014 г. с красным дипломом окончил магистратуру по направлению «Прикладная механика» кафедры «Механика и процессы управления»

Института прикладной математики и механики в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» (ФГБОУ ВПО «СПбГПУ»), в 2018 г. завершил обучение в очной аспирантуре при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН), работает младшим научным сотрудником в лаборатории мехатроники ИПМаш РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории мехатроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук.

Научный руководитель – Беляев Александр Константинович, доктор физико-математических наук, доцент, член-корреспондент Российской академии наук, главный научный сотрудник лаборатории мехатроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

– Мусалимов Виктор Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор факультета систем управления и робототехники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО».

– Горлатов Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский федеральный исследовательский центр

Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН), г. Пермь, в своем положительном отзыве, подписанном Матвеевко Валерием Павловичем, академиком РАН, доктором технических наук, профессором, директором Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук – филиала ПФИЦ УрО РАН, и Юрловой Наталией Алексеевной, кандидатом физико-математических наук, доцентом, старшим научным сотрудником Отдела комплексных проблем механики деформируемого твердого тела Института механики сплошных сред УрО РАН, и утвержденным Баряхом Александром Абрамовичем, академиком РАН, доктором технических наук, директором ПФИЦ УрО РАН, указала, что работа посвящена актуальной теме – разработке методов синтеза систем управления колебаниями упругих тел с обратной связью, в том числе модальных систем, осуществляющих раздельное управление различными формами колебаний упругого объекта. Работа имеет высокую практическую и научную значимость и является завершенной научно-исследовательской работой. К достоинствам работы отнесены всесторонность, последовательность и тщательность при проведении численных и экспериментальных исследований локального и модального подходов к управлению колебаниями упругой системы на примере гашения вынужденных изгибных колебаний тонкой металлической балки. Отмечается, что диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, а ее автор, А.В. Федотов, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)».

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 13 научных работ, из них в рецензируемых

научных изданиях опубликовано 6 работ (3 работы входят в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, 2 работы входят в международную реферативную базу данных Scopus, и 1 – в международном издательстве Springer). В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, вида, авторского вклада и объема научных изданий.

Наиболее значительными работами Федотова А.В. являются:

1) Беляев А.К., Полянский В.А., Смирнова Н.А., Федотов А.В. Процедура идентификации при модальном управлении распределенным упругим объектом // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2017. Т. 10. № 2. С. 69-81. **(ВАК)**

2) Belyaev A.K., Fedotov A.V., Irschik H., Nader M., Polyanskiy V.A., Smirnova N.A. Experimental study of local and modal approaches to active vibration control of elastic systems // Structural Control and Health Monitoring. 2018. V. 25. № 2. e2105. **(Scopus)**

3) Polyanskiy V.A., Belyaev A.K., Smirnova N.A., Fedotov A.V. Influence of Sensors and Actuators on the Design of the Modal Control System. In: Matveenko V., Krommer M., Belyaev A., Irschik H. (eds) Dynamics and Control of Advanced Structures and Machines. 2019. Springer, Cham. – P. 127-135. **(Springer)**

4) Федотов А.В. Численное моделирование гашения колебаний распределенной системы с помощью пьезоэлементов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2019. Т. 12. № 1. С. 142-155. **(ВАК)**

5) Fedotov A.V. Active vibration suppression of Bernoulli-Euler beam: experiment and numerical simulation // Cybernetics and Physics. 2019. V. 8. № 4. P. 228-234. **(Scopus)**

6) Федотов А.В. Применимость упрощенных моделей пьезоэлементов в задаче активного гашения колебаний // Известия высших

учебных заведений. Приборостроение. 2020. Т. 63. №2. С. 126-132. (ВАК)

На диссертацию и автореферат поступило **5 положительных отзывов** от:

1. Доцента кафедры управления в технических системах ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», к.т.н., доцента Поляковой Татьяны Геннадьевны.

Указаны замечания:

– В автореферате диссертации нет общепринятой математической формулировки задачи управления в пространстве состояний, а также практически отсутствуют формулы. Это затрудняет понимание теоретического содержания работы;

– Для одного из предложенных методов автором приводится термин «метод экспериментальной идентификации». Нет уверенности в том, что термин использован корректно, поскольку в данном методе речь не идет об определении матрицы системы.

2. Начальника отдела АО «НИИ командных приборов», к.т.н. Якимовского Дмитрия Олеговича.

Указаны замечания:

– Автор упоминает разработанный им алгоритм, позволяющий оптимизировать параметры фильтров, из которых конструируются передаточные функции в контурах управления. Не совсем понятно, что из себя представляет данный алгоритм и как именно он работает. Также не указано, из каких именно фильтров конструируются данные передаточные функции;

– Из текста автореферата неясно, каковы конкретные практические применения разработанных автором методик, для каких именно технических и инженерных систем могут быть использованы полученные автором результаты.

3. Профессора кафедры «Механика и прочность материалов и

конструкций» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», д.т.н., профессора Уздина Александра Моисеевича.

Указаны замечания:

– Во втором абзаце автореферата диссертант несколько обеднил пассивную виброзащиту, отнеся к ней «пассивные элементы (демпферы)». К пассивной виброзащите относятся также виброизоляция и динамические гасители колебаний. По результату (Рис. 7 автореферата) действие предложенной системы защиты очень похоже на использование динамических гасителей колебаний;

– Теоретическая часть работы, а она не простая, освещена в автореферате слабо. Можно было бы привести вид функций управления. Критерий оптимизации – формула (2) – также требует определенного пояснения. Этот критерий энергетический. Можно ли реализовать предложенный метод, если в качестве критерия взять максимум смещения?

– Из автореферата неясно, как учитывается демпфирование в балке на реализацию алгоритма. В ряде случаев приходится работать с колебаниями сильно демпфированных систем (затухание более 50% от критического). В них демпфирование влияет на частоты и формы колебаний. Применим ли разработанный алгоритм в этом случае?

4. Заслуженного деятеля науки и техники РФ, заведующей и профессора кафедры «Здания» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», д.т.н., профессора Белаш Татьяны Александровны.

Указано замечание: из автореферата не ясно, получили ли уже конкретное внедрение представленные автором результаты.

5. ООО «ПИ Геореконструкция».

Указаны замечания:

– В работе исследуются изгибные колебания тонких балок с различными условиями закрепления, однако в автореферате не приведены

дифференциальные уравнения, описывающие данное явление.

– В конечно-элементных моделях балки, рассмотренных в пятой главе диссертации (страницы автореферата 15-16), для всех форм колебаний балки выбрано одинаковое значение коэффициента демпфирования, равное 0,002. Неясно, чем объясняется данный выбор, и насколько корректно предположение об отсутствии зависимости данного коэффициента от частоты колебаний.

Во всех отзывах указывается, что автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.16 – «Информационно-измерительные и управляющие системы (в машиностроении)».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются компетентными и авторитетными учёными в области исследования колебаний механических систем и управления ими, а ведущая организация является одним из крупнейших научных центров в области механики сплошных сред, мониторинга и управления конструкциями, в котором работают такие авторитетные в данной области учёные, как академик РАН, д.т.н. Матвеев В.П., академик РАН, д.т.н. Барях А.А., к.ф.-м.н. Юрлова Н.А. и многие другие.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработан** метод экспериментальной идентификации распределенного упругого объекта, позволяющий определить оптимальные параметры линейного преобразования измеренных и управляющих сигналов, которое обеспечивает раздельное управление различными формами колебаний данного объекта в рамках модального подхода;

– Экспериментально **доказана** эффективность модального подхода к управлению распределенным упругим объектом в задаче гашения вынужденных колебаний на примере тонкой металлической балки,

закрывающаяся в том, что данный подход позволяет в 6-8 раз снизить амплитуду вынужденных колебаний на нескольких резонансных частотах одновременно, что было недостижимо при использовании стандартных методик локального управления;

– **доказана** необходимость использования при создании системы управления распределенным упругим объектом модели работы сенсоров и актуаторов, учитывающей влияние данных элементов на собственные формы колебаний объекта;

– **разработана** методика проектирования модальных систем управления распределенным упругим объектом, использующая метод экспериментальной идентификации для определения синтезатора и анализатора форм, а также процедуру оптимизации параметров передаточных функций в контурах управления. Эффективность указанной методики продемонстрирована численно на примере гашения колебаний тонкой металлической балки с помощью пьезоэлектрических сенсоров и актуаторов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– впервые **предложен** метод экспериментальной идентификации распределенного упругого объекта, заключающийся в том, что определение параметров осуществляется по собственным формам колебаний объекта с оптимизацией расположения сенсоров и актуаторов, с целью одновременного гашения вынужденных колебаний объекта на нескольких резонансных частотах. Разработанный метод может быть использован как теоретическая база для создания активных модальных систем управления распределенными упругими объектами;

– теоретически **доказана** необходимость учета влияния сенсоров и актуаторов на собственные формы колебаний распределенного упругого объекта при синтезе законов управления, и предложены адекватные модели пьезоэлектрических сенсоров и актуаторов как элементов системы управления;

– впервые **создана** методика синтеза управления распределенным упругим объектом при гашении колебаний одновременно на нескольких резонансных частотах, использующая процедуру оптимизации параметров передаточных функций в контурах управления по критерию минимума высоты резонансного пика.

Значение полученных соискателем результатов исследования **для практики** подтверждается тем, что разработанная методика проектирования модальных систем управления распределенными упругими объектами может быть использована при создании активных систем гашения колебаний данных объектов одновременно на нескольких резонансных частотах. Созданная на основе данной методики экспериментальная установка активно используется в учебном процессе в Университете Иоганна Кеплера, г. Линц, Австрия.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– использованы общепринятые современные средства и методы проведения натурального и численного моделирования, методы планирования эксперимента, теории автоматического управления, теории упругости;

– использованы адекватные конечно-элементные модели упругого объекта, работоспособность которых подтверждается сравнением результатов расчета и эксперимента.

Личный вклад соискателя состоит в:

– непосредственном участии в формулировке и постановке целей и задач диссертационного исследования;

– разработке алгоритмов проведения натурального эксперимента по управлению колебаниями тонкой металлической балки с помощью пьезоэлектрических сенсоров и актуаторов;

– проектировании и экспериментальной реализации локальных и модальных систем управления с обратной связью, предназначенных для гашения вынужденных изгибных колебаний балки;

– численном моделировании работы активных систем управления

изгибными колебаниями металлической балки;

- создании конечно-элементных моделей экспериментальной установки с целью численного воспроизведения результатов эксперимента;
- непосредственном участии в подготовке всех публикаций по представленной работе и апробации результатов исследования на основных всероссийских и международных конференциях.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842.

На заседании 24 сентября 2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Федотову А.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение учёной степени – 15, против присуждения учёной степени – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета Д 002.075.02,
д.т.н.



Полянский
Владимир Анатольевич

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.075.02,
к.т.н.

Кучмин
Андрей Юрьевич

24.09.2020 г.