

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.03 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 06.12.2016 г., протокол №13

О присуждении Фам Вьет Ань, гражданину Социалистической Республики Вьетнама, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Допусковые методы прогнозирования и контроля показателей надежности прецизионных печатных плат радиотехнических устройств» по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» (технические науки) принята к защите 29 сентября 2016 г, протокол № 7 диссертационным советом Д 212.125.03 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 125993, Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012.

Соискатель Фам Вьет Ань 1987 года рождения, в 2012 году окончил Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) «МАИ» по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» с присуждением квалификации «инженер». В период подготовки диссертации и по настоящее время соискатель обучается в очной аспирантуре кафедры № 404 «Конструирование, технология и производство радиоэлектронных средств» факультета «Радиоэлектроника летательных аппаратов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», которую окончил в 2016 году.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре № 404 «Конструирование, технология и производство радиоэлектронных средств».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Дембицкий Николай Леонидович, доцент кафедры № 404 «Конструирование, технология и производство радиоэлектронных средств» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. Зинченко Людмила Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры» МГТУ им. Н. Э. Баумана;

2. Якимов Виктор Леонидович, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры приемных устройств и радиоавтоматики Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **ОАО (Открытое Акционерное Общество) «РТИ»**, г. Москва, в своём положительном заключении, рассмотренном и одобренном на заседании секции №4 научно-технического совета ОАО «РТИ» от 25.10.2016 № 712/РТИ, подписанном заместителем генерального конструктора, первым заместителем председателя НТС ОАО «РТИ», к.т.н., доцентом Ступиным Д.Д., руководителем Комплекса планирования, координации и обеспечения разработок ОАО «РТИ», к.т.н., доцентом Линкевичиус А.П., руководителем проектов ОАО «РТИ», д.т.н., профессором Тимошенко А.В., заместителем директора НТЦ, заместителем председателя секции № 4 НТС ОАО «РТИ», к.ф.н. Кочкаровым А.А. и утверждённом Генеральным директором ОАО «РТИ» д.т.н., д.э.н. Боевым С.Ф., указала, что диссертация «Допусковые методы прогнозирования и контроля показателей надежности прецизионных печатных плат радиотехнических устройств» изложена логически стройно и грамотно. Выводы, методы, теоретические положения, выносимые на защиту, достаточно обоснованы,

подкреплены результатами экспериментальных исследований и соответствуют паспорту специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» (технические науки).

По диссертации сделаны следующие замечания:

1. Внедрение разработанных в диссертации методов потребует пересмотра сложившихся методик проектирования печатных плат с применением промышленных САПР. В диссертации не рассмотрены вопросы методологии включения предложенных подходов в существующие производственные процессы изготовления узлов и компонентов радиотехнического оборудования.

2. Предлагаемые методы и алгоритмы требуют получения исходной информации о погрешностях параметров печатных проводников и контролируемых допусках. Остаются открытыми вопросы: откуда эти данные будут поступать и каким образом они будут обрабатываться «на входе» алгоритмов?

3. Требуется более глубокое изучение вопросов оценки алгоритмической сложности при решении задачи оптимизации схем печатных плат. Необходимо поставить ограничения на применимость предложенных алгоритмов в рассматриваемой задаче.

Сделан вывод о том, что данные замечания не снижают ценность представленной работы. Диссертация характеризуется внутренним единством, новизной и достоверностью результатов, практической значимостью выводов и рекомендаций. Диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9, 10 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Фам Вьет Ань, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» (технические науки).

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 5 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК, 5 публикаций в сборниках трудов международных и всероссийских конференций и 3 заявки на изобретения.

Наиболее значимые публикации соискателя:

В изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:

4. Фам, Вьет Ань. Оптимизация выбора оборудования для производства бортовых радиотехнических комплексов / Н.Л. Дембицкий, А.В. Луценко, Фам Вьет Ань. – Электрон. журн. – Труды МАИ, 2015 - № 81.

5. Фам, Вьет Ань. Экспертная система технологической подготовки процесса сборки и монтажа узлов бортовой радиоаппаратуры / Н.Л. Дембицкий, А.В. Луценко, Фам Вьет Ань. – Электрон. журн. – Труды МАИ, 2015 - № 83.

6. Фам, Вьет Ань. Учет влияния погрешностей технологического процесса на выход годных при изготовлении высокочастотных устройств на печатных платах / Н.Л. Дембицкий, Фам Вьет Ань // Доклады ТУСУРа. – 2016. – том 19. № 1. - С. 9-13.

Заявки на получение патента:

7. Фам, Вьет Ань. Способ контроля отклонений ширины проводников печатной платы от номинальных значений / Н.Л. Дембицкий, Фам Вьет Ань // Заявка № 2016115784. Зарегистрирована 22.04.2016 г.

8. Фам, Вьет Ань. Устройство контроля технологической погрешности ширины проводников печатной платы / Н.Л. Дембицкий, Фам Вьет Ань, А.М. Петраков // Заявка № 2016115787. Зарегистрирована 22.04.2016 г.

9. Фам, Вьет Ань. Тест-купон и способ контроля погрешностей совмещения слоев многослойной печатной платы / Н.Л. Дембицкий, Фам Вьет Ань, А.М. Петраков // Заявка № 2016126038 Зарегистрирована 29.06.2016 г.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Зинченко Людмила Анатольевна (официальный оппонент) – отзыв заверен зам. начальником управления кадров МГТУ им. Н.Э. Баумана Назаровой О.В.

Замечания по диссертационной работе:

1. Следует отметить, что предложенная методика прогнозирования надежности печатных плат может быть формализована и доведена до разработки соответствующих алгоритмов и программ. Создание программных средств могло бы значительно усилить практическую ценность предложенного подхода.

2. В диссертации не приведены данные о практической проверке

предлагаемых способов контроля, что снижает практическую ценность работы.

3. В диссертации сделано допущение, что погрешности параметров печатных плат распределены по нормальному закону, не имеют смещенных оценок. Это не всегда так. Кроме того, производители оборудования иногда приводят информацию о погрешностях не на уровне $\pm 3\sigma$. Как быть в таких случаях и откуда взять данные?

4. Общим недостатком работы может быть разнонаправленность исследований (по главам), отнесенных к различным этапам проектирования и производства ПП и устройств на их основе.

5. Диссертации не совсем соответствует правилам оформления диссертационных работ (ГОСТ Р 7.0.11-2011), присутствуют пунктуационные и стилистические погрешности.

6. К недостаткам оформления диссертации и автореферата следует также отнести недостаточно полное представление информации о конференциях, на которых были апробированы полученные научные результаты.

Якимов Виктор Леонидович (официальный оппонент) – отзыв заверен начальником отдела кадров Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург Плотниковым Г.В.

Замечания по диссертационной работе:

1. Формулировка новизны работы содержит описание разработанных моделей и методов, что не полностью коррелирует с выносимыми на защиту методикой и способами.

2. Приведены расчеты и пример, показывающие влияние погрешностей смещения радиоэлементов в ходе монтажа на надежность радиотехнического устройства, но отсутствуют подобные примеры для погрешностей межсоединений ПП, хотя порядок расчета вероятности нарушения допусков на волновое сопротивление представлен.

3. Получены результаты оценки погрешности волнового сопротивления во всем диапазоне изменения значений ширины проводника для классов точности от 4-го до 7-го при заданной частоте сигнала, но не показано как эта погрешность будет изменяться, например, с ростом частоты сигнала в проводнике и отразится

ли рост частоты сигнала на эффективности разработанной методики. Является целесообразным получить перечень внешних (не конструкционных) параметров, которые могут влиять на достоверность оценки надежности радиотехнических устройств и их граничные значения, при которых достоверность прогнозирования находится в заданных пределах, либо показать, что они не оказывают никакого влияния.

4. Отсутствует подробный сравнительный анализ эффективности разработанной методики прогнозирования надежности радиотехнических устройств при проектировании ПП и используемой в настоящее время на производстве. Хотелось бы видеть подробное описание достоинств и недостатков обеих методик.

5. Не показано, как полученные прогнозные оценки вероятности нарушения допусков на волновое сопротивление, полученные на этапе проектирования радиотехнических устройств, используются в дальнейшем в ходе доработки ПП.

6. Из текста диссертации не понятно, насколько (в количественном отношении) достигается цель диссертационных исследований и повышается надежность радиотехнических устройств с использованием разработанной методики, способов и алгоритмов.

7. В целом текст диссертации изложен логично и написан достаточно грамотно, однако имеет место системная грамматическая ошибка в неправильном окончании слов.

На автореферат и диссертацию также поступило 8 отзывов из организаций:

ОАО «Научно-производственное Объединение «Волго»» (ОАО «Волго») – отзыв подписан начальником отдела системного проектирования, к.т.н. Кусовым П.Г. и утвержден генеральным директором ОАО «НПО «Волго»» Миренковым М.Г.

ОАО "Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца" – отзыв подписан начальником комплексного отдела – заместителем генерального конструктора ОАО «РТИ», д.т.н., профессором Тимошенко А.В. и заверен ученым секретарем ОАО «РТИ», д.т.н. Буханецым Д.И.

ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева» (Самарский университет) – отзыв подписан профессором кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств, д.т.н., проф. Пигановым М.Н. и заверен начальником отдела сопровождения деятельности ученых советов Самарского университета Васильевой И.П.

ООО «Остек-Сервис-Технология» - отзыв подписан научным руководителем ООО ОСТ, президентом Гильдии профессиональных технологов приборостроения, д.т.н., профессором Медведевым А.М. и заверен зав. канцелярией ООО ОСТ Перовой А.Г.

АО «Научно-исследовательский институт точных приборов» (АО «НИИ ТП») – отзыв подписан начальником лаборатории, д.ф-м.н. Татаренко Н.И., ведущим специалистом к.т.н., с.н.с. Сокольским В.В. и утвержден заместителем генерального директора, главного конструктора АО «НИИ ТП» по научной работе, д.т.н., профессором Кострюковым В.Ф.

ПАО «НПО «АЛМАЗ» им. Академика А.А. Расплетина – отзыв подписан ведущим инженером КТК ПАО «НПО «АЛМАЗ», д.т.н. Арешкиным А.А., ведущим инженер-конструктором КТК ПАО «НПО «АЛМАЗ», к.т.н. Аветисовым А.Г. и заверен начальником отдела кадров ПАО «НПО «АЛМАЗ» Павловой М.Н.

ООО «НКАБ-ЭРИКОН» - отзыв подписан генеральным директором ООО «НКАБ-Эрикон» Макаровым В.В.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУ) – отзыв подписан ведущим научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории «Безопасность и электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств» ТУСУРа, д.т.н., старшим научным сотрудником, член-корреспондентом Сибирской академии наук высшей школы Газизовым Т.Р. и заверен ученым секретарем Прокопчуком Е.В.

Основные замечания по содержанию работы:

1. К недостаткам диссертации следует отнести отсутствие данных о программной реализации разработанных методов. Ценность представленных материалов диссертации была бы намного выше в случае

создания на основе единого методического подхода программного комплекса допускового прогнозирования надежности.

2. В предлагаемом в четвертой главе подходе к решению задач прогнозирования надежности сборки может быть реализован с применением экспертных систем, которые позволили бы намного усилить возможности разработанных средств управления.

3. Автор работы совершенно игнорирует наличие широко используемых программ расчета волнового сопротивления линий связи (например, POLARIS, InSight, Cadence) и не оценивает свои результаты расчета с результатами использования этих программ;

4. Предложенный автором способ неразрушающего контроля погрешностей производства рефлектометрическим методом не дает полной информации для управления производством, так как волновое сопротивление зависит от множества параметров линий связи, не только от ширины проводников;

5. Автор в предложенных им расчетах не учитывает наличие корреляционных связей между параметрами линий связи, в частности между толщиной межслойной изоляции и диэлектрической проницаемостью композиционного диэлектрика, состоящего к примеру из стекла ($\epsilon=9$) и эпоксидной смолы ($\epsilon=3,5$). В процессе прессования плат (за счет выдавливания смолы) их соотношение может существенно меняться, что заметно сказывается на результатах расчетов;

6. В автореферате не показан «...расчет показателей надежности паяных соединений...» (стр. 17), таким образом «вечная проблема» назначения λ -характеристик паек остается не раскрытой;

7. В автореферате не показано, как сказывается на расчете элементов присоединения выводов компонентов погрешности автоматов сборки, тем более, что все поставщики этого оборудования сегодня заявляют свои точности на уровне 6σ (нормальное распределение).

8. В работе для определения волнового сопротивления печатных проводников используются известные инженерные формулы расчета

однородных линий передачи. Однако, печатные проводники ПП имеют неоднородности в виде переходов со слоя на слой, поворотов и т.д. Следовательно, необходим учет конструкции печатных проводников при расчете погрешностей на волновое сопротивление.

9. Не совсем понятен этап разработки посадочного места компонента, с учетом предлагаемой автором модели расчета размеров посадочных мест и оптимизации конструкций контактных площадок: предусмотрен ли автоматизированный механизм передачи полученных расчетных данных в систему автоматизированного проектирования ПП?

10. Автор в работе приводит зависимость волнового сопротивления от ширины для материала с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=4,5$ и не указывает, к какому типу материала это относится, обычно, приводится семейство зависимостей волнового сопротивления от ширины линии передач и диэлектрической проницаемости для разных материалов. При изготовлении ПП используются различные типы стеклотекстолитов и материалы на основе фторопласта, но автор не раскрывает на каких материалах проводились измерения.

11. Автор утверждает, что им разработан способ контроля погрешности ширины полоска по волновому сопротивлению, но известен динамический рефлектометр для контроля волнового сопротивления микрополосковых линий ИРС-35.

12. В общей характеристике работы не выделен такой элемент её структуры как «Теоретическая значимость», рекомендуемый ГОСТ 7.0.11-2011.

13. В список публикаций включены заявки (а не полученные патенты), а также сборник аннотаций работ конкурса, что не относится «Положением ВАК...» к учитываемым публикациям.

14. Положения, выносимые на защиту, сформулированы не как утверждения, а как результаты.

15. В тексте автореферата встречаются опечатки, например, в гл. 1 и 4.

16. Из рис. 1 (и текста) не ясно, о каких формулах ($\Phi 1$ и $\Phi 2$) идет речь.

17. Перед рис. 1 говорится об исследовании аналогичных зависимостей и для других типов линий, но они даже не перечислены.

18. Пример микрополосковой линии из рис. 1, полезен как классический, но непрактичен, поскольку не учитывает реальную форму поперечного сечения проводника (трапеция из-за подтравов фольги и закругленные углы), а также наличие других слоев (кроме основы) диэлектриков (препреги под проводником, а маска и лак над ним).

Все отзывы, поступившие на диссертацию и автореферат, положительные и содержат заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций и значительного опыта в соответствующей сфере исследования, компетентностью в области науки по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **проведен** анализ существующих инженерных методов расчета волнового сопротивления печатных проводников, *который показал*, что точность выбранных инженерных формул ($\approx 1\%$) в диапазоне применения (≤ 10 ГГц) при проектировании прецизионных печатных плат позволяет использовать их при расчетах коэффициентов влияния конструктивно-технологических параметров на погрешности волнового сопротивления;

- **доказаны** точность и адекватность разработанной инженерной методики прогнозирования показателей надежности прецизионных печатных плат. Для получения оценки точности формул ($\approx 1\%$) и адекватности использованы средства компьютерного моделирования, программная реализация и проверка на примерах проектирования радиотехнических устройств;

- **разработан** новый научный подход в виде методики прогнозирования надежности прецизионных печатных плат на этапе проектирования, учитывающий требования и ограничения применяемых технологий производства,

позволяющий сократить сроки создания и повысить надежность радиотехнических устройств за счет снижения вероятности отказов из-за трудно локализуемых нарушений допусков на параметры печатных проводников и контактных площадок. При числе критичных погрешностей соединений выше несколько десятков вероятность брака может снизиться на 10-15%, а трудоемкость контроля партии 1000 ПП снизиться на 100 часов;

- **предложены** оригинальные способы для контроля конструктивно-технологических параметров прецизионных печатных плат на этапе их производства, расширяющие возможности применения операций контроля при мелкосерийном и опытном производстве радиотехнических устройств за счет снижения стоимости оборудования и снижения трудоемкости.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **исследованы** взаимосвязи производственных погрешностей изготовления печатных проводников с погрешностями волнового сопротивления с целью получения аналитических выражений для расчета вероятности отказов при нарушении производственных допусков;

- **доказана** возможность прогнозирования вероятности отказов прецизионных печатных плат из-за производственных погрешностей, позволившая создать методику проектирования прецизионных печатных плат с учетом погрешностей производства;

- **получила развитие** теория параметрической надежности и точности радиотехнических устройств в области прогнозирования и контроля влияния производственных погрешностей на волновое сопротивление печатных проводников прецизионных печатных плат;

- **изложен** новый подход к методике проектирования прецизионных печатных плат, уменьшающий риск появления отказов на стадии производства и эксплуатации радиотехнических устройств. Вероятность отказов из-за задержек сигнала снижена на 16%, из-за недопустимых установок компонентов с 7% до долей процента;

- **изложен** новый подход к способам контроля погрешностей производства печатных проводников и совмещения слоев многослойных прецизионных

печатных плат, основанный на использовании рефлектометрических измерений волновых свойств печатных проводников на тестовых платах и тест-купонах печатных плат;

- **найдены** логические связи между смещениями компонентов при монтаже на поверхности и правилами установки компонентов с целью создания системы формализованных правил для обобщенного алгоритма оценки и оптимизации качества сборочно-монтажных операций на этапе проектирования прецизионных печатных плат, позволившие варьировать параметрами плотности монтажа и вероятностью брака, добиваясь повышения ресурса магистралей до 500 штук и снижать вероятность брака от 8,8 % до 0,62%.

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

1. Результаты диссертационной работы (методики и программы оценки показателей надежности, технологические операции контроля качества прецизионных печатных плат) **использованы** в ходе выполнения проектных работ по созданию РЛС ОАО РТИ, а также в учебный процесс кафедры 404, что подтверждается актами о внедрении, прилагаемыми к диссертации.

2. Разработанная инженерная методика проектирования, учитывающая при оценке результатов технологические возможности производства изготавливать прецизионные печатные платы с требуемыми допусками на волновое сопротивление, приводит к сокращению времени создания надежных печатных плат на 7-8 рабочих дней.

3. Предложенные технологические способы контроля показателей качества и надежности прецизионных печатных плат, позволяют сократить затраты 10 раз и снизить трудоемкость контрольных операций на 25-30 %, расширив возможности их применения при мелкосерийном и опытном производстве.

4. Разработанные алгоритмы и программа прогнозирования показателей надежности установки компонентов и оптимизации конструкции посадочных мест, позволяют повысить плотность монтажа и обеспечить необходимый уровень надежности радиотехнических устройств при сборочно-монтажных операциях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– **теория подтверждается** обоснованным использованием при разработке предлагаемых в диссертации подходов к проектированию прецизионных печатных плат известных методов теории параметрической надежности, теории вероятности, теории конструирования СВЧ устройств;

– **использование** в анализе точности инженерных формул апробированной специализированной компьютерной программы, прошедшей многократную проверку в проектных организациях, позволило сделать обоснованный выбор аналитических зависимостей для разработанной методики;

– **выбор** в качестве основы моделей и алгоритмов для прогнозирования показателей надежности установки компонентов и оптимизации конструкции посадочных мест компонентов формализованных правил из методик ГОСТ гарантирует получение результатов их работы соответствующих требованиям, закрепленным в стандартах проектирования радиотехнических устройств на печатных платах;

– **обоснование** патентуемых технологических способов контроля качества прецизионных печатных плат использованием ранее известных методов измерения электрофизических параметров печатных проводников;

– **совпадение** результатов, полученных в диссертационной работе, с вычислительными экспериментами и с примерами применения предлагаемых подходов к проектированию радиотехнических устройств.

Личный вклад соискателя состоит в:

– **разработке** методики проектирования прецизионных печатных плат быстродействующих цифровых устройств, включающей расчет вероятности нарушения производственных допусков на волновое сопротивление печатных проводников;

– **разработке** способа неразрушающего контроля погрешности ширины печатных проводников на основе рефлектометрического метода измерения волнового сопротивления;

– **разработке** способа неразрушающего контроля смещения слоев многослойных ПП на основе рефлектометрического метода измерения волнового

сопротивления;

– **разработке** алгоритма прогнозирования вероятности дефектов установки компонентов на поверхности прецизионных ПП;

– **разработке** алгоритма оптимизации конструкции посадочных мест компонентов с учетом факторов надежности и качества узлов РЭА при монтаже на поверхности;

– **подготовке** основных публикаций по работе и личном участии в 5 научных конференциях по тематике исследований.

На заседании 06 декабря 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Фам Вьет Ань учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 4 докторов наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель

диссертационного совета Д 212.125.03

д.т.н., профессор

Д.И. Воскресенский

Учёный секретарь

диссертационного совета Д 212.125.03

д.т.н., профессор

М.И. Сычёв

06.12.2016 г.