

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** Д 212.125.03

**Соискатель:** Кузнецов Григорий Юрьевич

**Тема диссертации:** Стендовая диагностика активной антенной решетки космического аппарата

**Специальность:** 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

**Решение диссертационного совета по результатам защиты:** На заседании 30 октября 2018 года, протокол №20, диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным положением «О присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842, и принял решение присудить Кузнецову Григорию Юрьевичу ученую степень кандидата технических наук.

**Присутствовали:** Воскресенский Д.И. – председатель, Сычев М.И. – ученый секретарь, а также члены диссертационного совета: Куприянов А.И., Гаврилов К.Ю., Гостюхин В.Л., Гринев А.Ю., Ильчук А.Р., Кузнецов Ю.В., Поваляев А.А., Татарский Б.Г., Татарников Д.В., Темченко В.С., Ушкар М.Н., Шевцов В.А., Чебышев В.В., Юдин В.Н..

Ученый секретарь совета

Д 212.125.03, д.т.н., с.н.с.



М.И. Сычев



**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 ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 30.10.2018 № 20

О присуждении Кузнецову Григорию Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Стендовая диагностика активной антенной решетки космического аппарата» по специальности 05.12.07 - «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» (технические науки) принята к защите «28» августа 2018 года, протокол № 10, 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 Кузнецов Григорий Юрьевич 1992 года рождения, в 2014 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)». В период подготовки диссертации соискатель обучался в очной аспирантуре кафедры «Радиофизика, антенны и микроволновая техника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный

исследовательский университет)», которую окончил в 2018 году. Соискатель работает инженером АО «Научно-исследовательский институт точных приборов» (АО «НИИ ТП»).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре 406 «Радиофизика, антенны и микроволновая техника».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент **Темченко Владимир Степанович**, профессор кафедры «Радиофизика, антенны и микроволновая техника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

1. **Курочкин Александр Петрович**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник АО «Концерн радиостроения «ВЕГА»;

2. **Нечаев Евгений Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление воздушным движением» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА);

дали положительные отзывы.

Ведущая организация – **Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборостроения имени В.В. Тихомирова»**, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном начальником сектора, к.т.н. Грибановым А.Н., заместителем Генерального директора по научной работе, к.т.н, с.н.с. Синани А.И. и утвержденным Генеральным директором АО «НИИП имени В.В. Тихомирова» Белым Ю.И. указала, что диссертация является законченной квалификационной работой, в которой

решена важная задача развития методов диагностики многоэлементной АФАР космического аппарата, позволяющих существенно уменьшить время проведения измерений параметров электромагнитного поля в ближней зоне. Диссертация вносит существенный вклад в развитие методов диагностики многоэлементных АФАР и является нужной для практики.

По диссертации Кузнецова Г.Ю. сделаны следующие замечания:

1. В диссертации представлены результаты разработки комбинированного метода диагностики применительно к конкретной АФАР. Отсутствуют рекомендации по возможному расширению разработанных подходов на АФАР с другими геометрическими параметрами и характеристиками возбуждения.
2. Не сформулированы требования к функциональным возможностям тестируемой АФАР. Например, для использования разработанного метода диагностики АФАР должна иметь возможность отключения возбуждения любой заданной совокупности элементов.
3. Как следует из материалов диссертации, разработанный метод диагностики работоспособен при наличии очень малого числа дефектных элементов. Однако, на практике, число дефектных элементов, заранее неизвестно, оно может быть и большим. В представленной диссертации отсутствуют рекомендации по диагностике, когда условие малости числа дефектных элементов не выполняется.
4. Достоверность результатов диагностики очень сильно зависит от вида разреженной матрицы измерений, а также используемых параметров регуляризации при минимизации целевой функции. В представленной работе отсутствуют обобщенные рекомендации по выбору этих параметров.
5. В представленном автореферате и диссертационной работе используются жаргоны. Например, употребляется термин «расширенная ДН» (стр. 5, 6, 7

автореферата; стр. 11, 13, 14, 116 диссертации) вместо «расширенный луч».

Сделаны выводы о том, что диссертация Кузнецова Григория Юрьевича на тему «Стендовая диагностика активной антенной решетки космического аппарата» соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям по специальности 05.12.07 - "Антенны, СВЧ устройства и их технологии", а ее автор Кузнецов Г. Ю. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук. Отзыв обсужден и одобрен на заседании Секции Научно-технического совета №2 АО «НИИП имени В.В. Тихомирова» (Протокол №6 от 25.09.2018).

Соискатель имеет 9 опубликованных научных работ по теме диссертации, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК и 5 публикаций в сборниках международных и всероссийских конференций, также получен 1 патент РФ на изобретение.

Наиболее значимые публикации соискателя в журналах из перечня ВАК:

1. Кузнецов Г.Ю., Темченко В.С. Комбинированный метод диагностики антенных решеток на основе ограниченного набора измерений полевых характеристик в ближней зоне // Научно-технические технологии. 2015. №8. С. 48-53.
2. Кузнецов Г.Ю., Темченко В.С. Реконструктивная диагностика фазированных антенных решеток с использованием метода «опознание со сжатием» // Антенны. 2017. №1. С. 14–21.
3. Кузнецов Г.Ю., Темченко В.С., Милосердов М.С., Гиголо А.И. Диагностика активной фазированной антенной решетки при тепловых испытаниях по малому числу измерений // Антенны. 2018. №1. С. 23–31.

4. Кузнецов Г.Ю., Темченко В.С. Особенности моделирования полевых характеристик и проведения реконструктивной диагностики АФАР при размещении в климатической камере // Антенны. 2018. №7. С. 21-32.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

**Курочкин Александр Петрович** (официальный оппонент).

Отзыв заверен ученым секретарем АО «Концерн радиостроения «ВЕГА» Сидоровой Н.С.

Замечания по диссертационной работе:

1. Актуальность работы обоснована расплывчато. Нечетко сформулирована цель работы.
2. Обзор известных методов диагностики, приведенный в первой главе, излишне подробен, в то время как содержание других разделов следовало сделать более полным.
3. Результаты численного моделирования учета влияния характеристик радиопрозрачного окна климатической камеры, полученные при тепловых испытаниях АФАР, следовало сравнить с результатами экспериментальных исследований.
4. Результатом исследований при решении задачи синтеза расширенной ДН должно бы быть решение задачи диагностики антенны, а не оценка влияния отказа одного из элементов на её техническое состояние.
5. Имеются небрежности как в стилистике, так и в оформлении текста диссертации и автореферата.

При этом подчеркнуто, что «отмеченные замечания не снижают научной значимости представленной работы».

**Нечаев Евгений Евгеньевич** (официальный оппонент).

Отзыв заверен проректором МГТУ ГА по научной работе и инновациям Воробьевым В.В.

Замечания по диссертационной работе:

1. Результаты диагностики АФАР, приведенные в работе, как на основе численного моделирования, так и экспериментальные, получены при низкой взаимной связи между элементами антенны в силу большого расстояния между ними. Неясно, применим ли разработанный метод диагностики для случая, когда взаимное влияние элементов будет значительным.
2. Критерий выбора оптимального параметра регуляризации при решении обратной задачи в предложенном методе диагностики сформулирован только для конкретной антенной решетки.
3. Вопросы, связанные с учетом влияния радиопрозрачного окна при проведении тепловых испытаний АФАР на результаты измерения поля, следовало рассмотреть подробнее, в частности, должным образом учесть поляризацию излучения, а также сравнить их с результатами экспериментальных исследований.
4. В диссертации указано, что расширение луча проводится для сохранения высокого пространственного разрешения радиолокатора, требующего широкую полосу зондирующего сигнала. Однако в диссертации задача синтеза ДН решена только для одной частоты.
5. В тексте диссертации и автореферата присутствуют стилистические ошибки и опечатки. Неясно, с какой целью автор вводит новый термин «полевые характеристики антенны» (стр. 3 автореферата, стр. 18 диссертации).

При этом подчеркнуто, что «указанные замечания не снижают научной ценности и практической значимости результатов, полученных автором в диссертационной работе».

На автореферат и диссертацию также поступило 9 отзывов из организаций:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский

- государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (СГУ) – отзыв подписан проректором по НИР, заведующим кафедрой физики открытых систем д.ф.-м.н., профессором Короновским А.А. и заверен ученым секретарем СГУ, к.т.н., доцентом Федусенко И.В.
2. Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А. И. Берга» (АО «**ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга**») – отзыв подписан начальником лаборатории, к.т.н., с.н.с. Радченко В.В. и утверждён председателем ученого совета, д.т.н., профессором Андреевым Г.И.
  3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) – отзыв подписан д.т.н., профессором Малютиным Н.Д. и заверен ученым секретарем ТУСУР Прокопчук Е.В.
  4. Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Алмаз» им. академика А.А. Расплетина» (ПАО «**НПО «Алмаз» им. академика А.А. Расплетина**») – отзыв подписан главным научным сотрудником, д.т.н. Климовым К.Н. и заверен начальником отдела кадров Суворовым П.С.
  5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет» (НГТУ) – отзыв подписан профессором кафедры «Физика и техника оптической связи», д.т.н., профессором, заслуженным деятелем науки РФ Раевским С.Б. и профессором кафедры «Физика и техника оптической связи», д.т.н., профессором Бирюковым В.В. и заверен ученым секретарем Ученого Совета НГТУ, к.т.н., доцентом Мерзляковым И.Н.
  6. Акционерное общество «Научно-производственная фирма «Микран» (АО «**НПФ «Микран**») – отзыв подписан ведущим научным сотрудником



- отдела НИР департамента СВЧ-электроники, д.т.н., Хлусовым В.А. и заверен заместителем генерального директора по НИОКР Мананко Е.Е.
7. Публичное акционерное общество «Радиофизика» (**ПАО «Радиофизика»**) – отзыв подписан начальником сектора, к.т.н., Шитиковым А.М. и заверен ученым секретарем, к.т.н. Смольниковой О.Н.
  8. Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Исток» имени А.И. Шокина» (**АО «НПП «Исток» им. Шокина»**) – отзыв подписан заместителем генерального директора по научной работе, к.т.н. Щербаковым С.В. заместителем генерального директора по научной работе, к.т.н. Щербаковым С.В.
  9. Филиал акционерного общества «Объединенная ракетно-космическая корпорация» – «Научно-исследовательский институт космического приборостроения» (**Филиал АО «ОРКК» - «НИИ КП»**) – отзыв подписан заместителем начальника отдела, к.т.н. Гавриловым А.А. и заверен руководителем филиала Яскиным Ю.С.

Основные замечания по содержанию работы:

1. Нет обобщения критерия выбора параметра регуляризации на произвольные антенные решетки.
2. Не рассмотрено влияние отказов нескольких элементов на характеристики оптимизированной ДН.
3. Непонятно, при каких условиях получены результаты численного моделирования реконструктивной диагностики для двух моделей АР, приведенные в таблице 1.
4. Отсутствуют результаты влияния фазовых ошибок, обусловленных разбросом характеристик фазовращателей и усилителей АФАР, а также их отказов на характеристики расширенной ДН, полученной при оптимизации целевой функции.
5. Не приведены результаты учета температурных нестабильностей всех элементов тестируемой АФАР при тепловых испытаниях.

6. Не приведено сравнение временных затрат на дополнительные измерения на втором этапе при определении характеристик потенциально дефектных элементов АФАР и временем полных измерений, проводимых на первом этапе метода диагностики.
7. В автореферате отсутствуют сравнения результатов диагностики, полученных при компенсации температурных нестабильностей всех элементов АФАР и результатов решения задачи диагностики, полученных без учета корректирующего множителя.
8. Малое число дефектных элементов АФАР не позволяет судить о результатах оценки её технического состояния при формировании расширенной ДН, полученной на основе решения задачи синтеза.
9. Отсутствуют экспериментальные данные результатов диагностики АФАР с большим (более 100) количеством элементов.
10. Не приведены показатели точности восстановления амплитуд и фаз элементов методом «сжатия с распознаванием» без учета его модификации.
11. Из текста автореферата неясно, из каких соображений выбраны конкретные значения амплитуды и фазы напряжения возбуждения элемента решетки, при которых он считается работоспособным на втором этапе диагностики.
12. Не представлена сравнительная оценка времени диагностики предложенным и традиционными методами.
13. Не определены границы применимости разработанного метода, сказано лишь, что число дефектных элементов должно быть много меньше их общего числа.
14. При изложении автором теоретических положений, результаты, приводимые из других работ, следовало бы сопровождать соответствующими ссылками в тексте диссертации. В частности, часть формул, приведенных в разделе 2.1 «Теория метода CS», взята из статьи

- [16]. Результаты, полученные непосредственно автором, следовало бы явно выделять в тексте работы.
15. Слабо освещен вопрос выбора параметра регуляризации при минимизации целевой функции.
  16. На стр. 9 диссертации в последнем абзаце соискатель пишет: «Новые методы диагностики, основанные на методе «сжатие с распознаванием» (Compressed Sensing, CS), представлены в ранних работах, проводимых в интересах *обработки изображений* [12-16]». Следует отметить, что работа [16] посвящена диагностике ФАР.
  17. На стр. 4 автореферата в последнем абзаце словосочетание «Compressed Sensing» переведено как «опознание со сжатием». А на стр. 10 автореферата в четвертом абзаце как «сжатие с распознаванием». В тексте диссертации используется перевод «сжатие с распознаванием». Следовало бы сохранить одинаковую терминологию на протяжении всего текста диссертации и автореферата.
  18. Неясен критерий выбора параметра регуляризации при решении обратной задачи в предложенном методе диагностики.
  19. В разработанной методике реализации алгоритма синтеза АФР для расширенной ДН в угломестной плоскости не приведены результаты выбора маски для главного лепестка в зависимости от заданных требований к ДН.
  20. В автореферате отсутствуют данные о точности расчета амплитуды и фазы потенциально дефектных элементов для алгоритма  $l_1$ -регуляризации без его модификации.
  21. В тексте автореферата нет обоснования предположения, что число дефектных элементов намного меньше числа элементов решетки.
  22. Неясно, почему при синтезе ДН с помощью генетического алгоритма проводится оптимизация только фазового распределения, а не амплитудного и фазового распределений совместно.

23. В тексте автореферата присутствуют стилистические ошибки.

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

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием публикаций и значительного опыта в соответствующей сфере исследования, компетентностью в области науки по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

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

- **Предложен** комбинированный метод диагностики многоэлементной АФАР космического РСА, позволяющий осуществлять экономию ресурса работы ее приемопередающих модулей путем сокращения массива данных при проведении измерений поля излучения антенны в ближней зоне, включающий решение обратной задачи и метод реконструктивной диагностики.
- **Разработан** двухэтапный метод решения задачи диагностики ФАР, позволяющий на первом этапе на основе метода «сжатие с распознаванием» определить наличие и положение потенциально дефектных элементов, а на втором этапе – определить с высокой точностью амплитуды и фазы источников возбуждения каждого из потенциально дефектных элементов тестируемой ФАР.
- **Разработан** метод фазового синтеза расширенной приемно-передающей диаграммы направленности АФАР РСА космического аппарата, реализуемый на основе метода апертурных ортогональных полиномов и алгоритма глобальной оптимизации, включающий выбор маски,

обеспечивающей формирование приемо-передающей ДН с заданными характеристиками и провалом в УБЛ в направлении отражения от земной поверхности.

- **Предложен** метод реконструктивной диагностики при проведении тепловых испытаний АФАР, размещенной в модифицированной климатической камере, реализуемый на основе решения обратной задачи, включающей выбор оптимального параметра регуляризации, что позволяет эффективно определить характеристики дефектных элементов с незначительными отличиями температуры;
- **Проведены** экспериментальные исследования отдельных образцов подрешеток АФАР, полученные на основе разработанного алгоритма и программы обработки данных в среде MATLAB, позволившие подтвердить полученные результаты.

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

- **Предложен** подход, включающий решение обратной задачи и основанный на поиске корректирующего коэффициента с помощью итерационной  $l_1$ -минимизации с ограничением, позволяющий компенсировать влияние малых температурных отклонений приемопередающих модулей АФАР на результаты диагностики.
- **Предложен** подход, позволяющий существенно сократить размерность решаемой задачи при использовании традиционных методов диагностики, поскольку для решения задачи в этом случае можно использовать только дефектные и потенциально дефектные элементы АФАР, исключая рабочие элементы, которых намного больше.

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

- Результаты диссертации **внедрены** на предприятии АО «НИИ ТП» в рамках проведения опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по созданию радиолокационных комплексов дистанционного зондирования Земли космического базирования, что подтверждается актом о внедрении, прилагаемым к диссертации.

**Достоверность результатов исследований подтверждаются:**

- **корректной постановкой** обратных задач диагностики антенных систем, выбором и строгим обоснованием их решения, выбором оптимального параметра регуляризации;
- **применением** корректных методов расчета и анализа характеристик антенн, анализом результатов численного электродинамического моделирования;
- **совпадением** результатов диагностики ФАР, полученных на основе разработанного метода, с частными результатами известных методов диагностики ФАР.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

- **разработке** методов диагностики антенных решеток по сокращенному числу измерений в ближней зоне;
- **проведении** численного моделирования волноводной ФАР, проведенного на основе метода конечных разностей во временной области сравнение с результатами эксперимента;
- **проведении** экспериментальных исследований отдельных модулей АФАР при проведении тепловых испытаний;
- **подготовке** основных публикаций по работе и личном участии в 5 конференциях, по тематике исследований.

На заседании 30 октября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Кузнецову Г.Ю. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 6 докторов наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии», участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» 16, «против» 0, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета

Д 212.125.03, д.т.н., профессор

Д.И. Воскресенский

Ученый секретарь совета Д 212.125.03

д.т.н., с.н.с.

М.И. Сычев

30.10.2018 г.

И.о.начальника отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина

