

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д 212.125.03

Соискатель: Булыгин Максим Леонидович

Тема диссертации: «Многолучевые режимы съемки в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой»

Специальность: 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 31 октября 2018 года, протокол №22, диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению она удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утверждённом Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Булыгину Максиму Леонидовичу ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали:

Воскресенский Д.И. – председатель диссертационного совета;

Куприянов А.И. – заместитель председателя диссертационного совета;

Сычев М.И. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

Гаврилов К.Ю., Гостюхин В.Л., Гринев А.Ю., Ильчук А.Р.,
Кузнецов Ю.В., Поваляев А.А., Татарников Д.В., Татарский Б.Г.,
Темченко В.С., Ушкар М.Н., Чебышев В.В., Шевцов В.А., Юдин В.Н.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.03

д.т.н., с.н.с.

Сычев М.И.



**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 № 22 от 31.10.2018

О присуждении Булыгину Максиму Леонидовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Многолучевые режимы съемки в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой» по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация» (технические науки) принята к защите «29» августа 2018 года, протокол № 11, 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 Булыгин Максим Леонидович 1991 года рождения, в 2014 году окончил Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (государственный технический университет)». В период подготовки диссертации соискатель обучался в очной аспирантуре кафедры 404 «Конструирование, технология и производство радиоэлектронных средств» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», которую окончил в 2018 году. Соискатель

работает инженером 1 категории Акционерного общества «Научно-исследовательский институт точных приборов».

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, Орлов Валерий Павлович 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. **Бурый Алексей Сергеевич**, доктор технических наук, директор департамента Федерального государственного унитарного предприятия «Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия» (ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»);

2. **Николаев Виктор Николаевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательское управления научно-исследовательского центра (г. Курск) Федерального государственного унитарного предприятия «18 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации; дали положительные отзывы.

Ведущая организация – **Акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега»** (АО «Концерн «Вега»), г. Москва в своем положительном заключении, подписанным начальником лаборатории, к.т.н. С.Н. Пущинским, главным научным сотрудником д.т.н., профессором Л.Б. Неронским и утвержденным заместителем генерального директора по

гособоронзаказу АО «Концерн «Вега», к.т.н. А.Д. Крайлюком указала, что диссертация Булыгина М.Л. является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, связанную с повышением эффективности РСА космического базирования.

По диссертации Булыгина М.Л. сделаны следующие замечания:

1. В материалах диссертации рассматриваются вопросы организации многолучевых режимов съемки в РСА космического базирования, но при этом не показан итоговый результат само радиолокационное изображение, формируемое при данной процедуре съемки, и, соответственно, влияние на качество данного изображения особенностей многолучевой съемки.

2. Расчетные соотношения характеристик бокового визирования представлены без учета эллипсоидального характера формы Земной поверхности.

3. В Главе 2 при изложении алгоритма выбора периода повторений в целях минимизации влияния неоднозначности на формируемое РЛИ при многолучевом зондировании не оценено воздействие на диаграммы распределения помех (рисунок 2.25) рельефа земной поверхности, приводящее к смещению зон «слепых» дальностей и надирных отражений.

4. Представленные на рис. 2.25-2.26 диаграммы помех не используются далее, в главе 3, при рассмотрении вопросов улучшения параметров РСА при многолучевом зондировании. Возникает вопрос: для каких целей приводились данные диаграммы?

5. В главе 3 при многолучевой сканирующей съемке предполагается перекрытие соседних лучей ДН, в то же время, необходимость такого перекрытия неочевидна.

6. Представленную на рисунке 3.4 зависимость эффективности режима многолучевой сканирующей съемки, следовало бы отображать не в разгах, а в децибелах.

7. В главе 3 представлены различные оценки характеристик многолучевой съемки, однако, при этом не оценено ухудшение

энергетических характеристик при многолучевом зондировании, обусловленное амплитудными потерями, вызванными эффектом частотной дисперсии АФАР, о котором говорилось в п. 2.6.

8. Изложение материалов исследования содержит ряд грамматических ошибок и стилистических погрешностей.

Сделаны выводы о том, что диссертация «Многолучевые режимы съемки в космических радиолокаторах с синтезированной апертурой» отвечает требованиям ВАК Министерства образования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация».

Отзыв обсужден и одобрен на заседании секции №1 НТС АО «Концерн «Вега» 10 октября 2018 г.

Соискатель имеет 19 опубликованные научные работы по теме диссертации, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК и 14 публикаций в сборниках международных, всероссийских и молодежных конференций.

Наиболее значимые публикации соискателя:

1. Булыгин М. Л., Муллов К. Д. Формирователь зондирующего сигнала для радиолокатора с синтезированной апертурой [Электронный ресурс] // Труды МАИ. – 2015. – № 80 (26.03.2015). – Режим доступа: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57040>.

2. Булыгин М. Л., Внотченко С. Л., Коваленко А. И., Риман В. В. Режим многоканальной съемки в многоапертурном космическом радиолокаторе с синтезированной апертурой // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. – №5. – сс. 20-26.

3. Булыгин М. Л., Внотченко С. Л. Построение диаграмм слепых дальностей и надирных отражений радиолокатора с синтезированной

апертурой в MATLAB [Электронный ресурс] // Труды МАИ. – 2015. – № 83 (05.10.2015). – Режим доступа: <http://trudymai.ru/published.php?ID=62290>.

4. Булыгин М. Л., Маркова А. С., Муллов К. Д. Реализация режима многоканальной сканирующей съемки в радиолокаторе космического базирования [Электронный ресурс] // Труды МАИ. – 2018. – № 98 (15.03.2018). – Режим доступа: <http://trudymai.ru/published.php?ID=90438>.

5. Булыгин М. Л. Особенности реализации многолучевых режимов съемки с частотным разделением лучей в космических РСА на базе АФАР. [Электронный ресурс] // Труды МАИ. – 2018. – № 100 (25.06.2018). – Режим доступа: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93428>.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Бурый Алексей Сергеевич (официальный оппонент). Отзыв заверен начальником отдела кадров ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» А.В. Алиевой.

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе присутствуют погрешности в описаниях условных обозначений математических выражений (см. формулы (2.20), (2.28)), а выражение (3.10) требует еще существенного упрощения.

2. В работе не приводится сравнение способов сканирования многолучевой системой районов наблюдения для оптимизации временных и энергетических параметров.

3. Разработанную методику многолучевого визирования целесообразно было бы представить в виде последовательности пошаговых действий (этапов), выполняемых элементами (подсистемами) радиолокатора с синтезируемой апертурой.

4. Диссертация, на наш взгляд, только выиграла при представлении автором общей математической постановки решаемой задачи, а не вербальном ее описании (см. с.45-46).

При этом подчеркнуто, что отмеченные недостатки, не снижают существенно ценности представленного диссертационного исследования, а

сформулированные в работе выводы и рекомендации остаются справедливыми.

Николаев Виктор Николаевич (официальный оппонент). Отзыв заверен начальником отдела кадров НИТЦ (г. Курск) ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ С. Сапроновым.

Замечания по диссертационной работе:

1. Представленный в главе 1 обзор существующих систем РСА представляется излишне подробным. Принимая во внимание тему диссертации целесообразно было сделать упор на более подробный обзор режимов съемки.

2. В представленных соотношениях 2.15-2.16 по оценке уровня неоднозначности не обосновано выбранное ограничение по области интегрирования $n = \pm 1$ – в области первых локальных максимумов функции импульсного отклика РСА.

3. В диссертационной работе представленными алгоритмами визирования не решается задача покadroвого формирования РЛИ земной поверхности с «перекрытием», необходимым для сшивки парциальных кадров в единое РЛИ земной поверхности.

При этом отмечается, что приведенные замечания не меняют положительного мнения о работе соискателя.

На автореферат и диссертацию также поступило 11 отзывов из организаций:

1. Акиционерное общество научно-исследовательский институт «Точных приборов» (АО «НИИ ТП») – отзыв подписан ведущим научным сотрудником, к.т.н. С.Л. Внотченко, утвержден заместителем генерального директора – главного конструктора АО «НИИ ТП» по научной работе, д.т.н., д.в.н., профессором В.Ф. Кострюковым.

2. Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс» (РКЦ «Прогресс») – отзыв подписан заместителем начальника отдела, к.т.н.

А.А. Журавлёвым, подписан ВрИО заместителя генерального конструктора по научной работе, к.т.н. М.В. Борисовым, утвержден ИО Генерального директора, к.т.н. А.Д. Сторожом.

3. Акционерное общество «Корпорация «Фазотрон – научно-исследовательский институт радиостроения» (**АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР»**) – отзыв подписан начальником НКО-4 Новожиловым А.В., заверен начальником лаборатории 404, к.т.н. Саратовским Н.В., утвержден генеральным конструктором АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР» Гуськовым Ю.Н.

4. 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., заверен зам. генерального директора по НИОКР Мананко Е.Е.

5. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (**ТУСУР**) – отзыв подписан главным научным сотрудником НИИ Систем электрической связи ТУСУР, д.т.н., профессором Н.Д. Малютиным, заверен ученым секретарём Е.В. Прокопчуком.

6. Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина» (**ПАО «НПО «Алмаз»**) – отзыв подписан главным научным сотрудником, д.т.н. Климовым К.Н., заверен начальником отдела кадров Суворовым П.С.

7. Закрытое акционерное общество научно-технический центр «Модуль» (**ЗАО НТЦ «Модуль»**) – отзыв подписан начальником отдела НМО Егисапетовым Э.Г., заверен начальником отдела кадров Е.Ю. Обернихиной.

8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА - Российский технологический университет» (**РТУ МИРЭА**) – отзыв подписан доцентом кафедры

КБ-6 «Приборы и информационно-измерительные системы» ИКБСП, к.т.н., доцентом Мираситовым С.Ф., заверен начальником управления кадров РТУ МИРЭА Филатенко Л.Г.

9. Публичное акционерное общество «Научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина» (ПАО «НПО «Алмаз») – отзыв подписан зам. начальника отдела аспирантуры ПАО «НПО «Алмаз», д.т.н. Жилиевым А.А., заверен начальником научно-образовательного центра ПАО «НПО «Алмаз» Лемандским Д.А.

10. Акционерное общество «Корпорация «Фазотрон – научно-исследовательский институт радиостроения» (АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР») – отзыв подписан с.н.с, к.т.н. Ефимовым А.В., секретарем НТС к.т.н., с.н.с. Паниным Б.А., утвержден генеральным конструктором АО «Корпорация «Фазотрон-НИИР» Гуськовым Ю.Н.

11. Акционерное общество «Научно-технический центр радиоэлектронной борьбы» (АО «НТЦ РЭБ») – отзыв подписан главным инженером АО «НТЦ РЭБ», к.т.н., с.н.с. Мамаевым Ю.Н., заверен начальником отдела кадров Е.В. Назаретской, утвержден генеральным директором АО «НТЦ РЭБ», к.т.н., с.н.с А.П. Саркисяном.

Основные замечания по содержанию работы:

1. Излишне краткое описание основных положений и результатов диссертации. В материалах автореферата не даны границы применимости для некоторых формул, например, (5). В тексте имеются опечатки и грамматические ошибки, а также неудачные стилистические обороты.

2. В тексте автореферата не отражены сравнительные характеристики разработанной автором методики многолучевого визирования, с существующими и применяемыми в космических системах методиками.

3. Судя по автореферату, в рамках работы не сформированы требования к характеристикам аппаратных средств для реализации разработанных методов и алгоритмов (цифровой тракт ЦАФАР);

4. В тексте автореферата не приведены количественные значения разрешения и размеров полос захвата, достижимые при использовании разработанных методов визирования.

5. Отсутствие сравнительного анализа методик разделения сигналов на излучение. В частности, применение частотного разделения зондирующих суб-импульсов позволяет при зондировании отказаться от разбиения сигнала на суб-импульсы в принципе и тем самым реализовать одновременное излучение смеси зондирующих импульсов, без сокращения их длительности, что позволяет сохранить энергетические характеристики сигналов.

6. При прочтении автореферата остается открытым вопрос выбора частоты дискретизации сигнала F_d аналого-цифрового преобразователя, с которой осуществляется многоканальная принимаемых ЛЧМ сигналов с шириной спектра, обеспечивающей получение заданного разрешения по дальности.

7. Влияние формы АЧХ фильтра на максимально допустимую полосу ЛЧМ сигнала, описанное на странице 12 автореферата, может быть существенно снижено при использовании цифровых ФНЧ больших порядков что в данном случае снимает необходимость предлагаемого ввода защитных частотных интервалов между соседними парциальными спектрами (или существенно ослабляет требования к их ширине).

8. Не выделена как самостоятельная задача оптимизации количества формируемых антенных лучей при заданных ограничениях бортовых вычислительных средств и обеспечиваемом улучшении характеристик съемки. Соответственно в автореферате отражено решение этой задачи на частных случаях, не дающих четко обозначенных границ применения перспектив практической реализации РСА с использованием АФАР.

9. Задача под номером 3 «Выявить и проанализировать факторы, влияющие на характеристики многолучевого радиолокационного визирования в РСА с цифровой АФАР» сформулирована расплывчато. Из материала автореферата видно, что автор выделил и исследовал ряд факторов, определяющих возможности разрабатываемого направления создания РСА. Уточнение формулировки обозначенной задачи способствовало бы оценке степени значимости влияния исследуемых параметров системы на конечный результат (увеличение площади обзора, разрешающей способности).

10. Механизмы компенсации влияния частотной дисперсии АФАР на условия съемки, представленные на стр. 16 автореферата, следует пояснить иллюстрацией и расчетными соотношениями для вычисления номинала несущей частоты.

11. Не приведены соотношения для расчета величины разрешающей способности в режимах многолучевой прожекторной съемки и расширенной многолучевой прожекторной съемки (стр. 17-19).

12. Не представлены алгоритмы расчета общих параметров зондирования: частоты повторения импульсов, длительности пачки субимпульсов, скважности.

13. Расширение полосы захвата возможно за счет расширения ширины ДН по вертикали при эквивалентных потерях энергетических характеристик имеющихся в случае сокращения длительности зондирующего субимпульса для описанного многолучевого визирования, однако данный способ увеличения полосы съемки остался без внимания в автореферате.

14. Не обоснован выбор горизонтальной конфигурации многолучевой диаграммы направленности.

15. Расчет энергетических характеристик многолучевой диаграммы ограничивается только оценкой энергетических потерь, вызванных сокращением длительности парциального импульса, в то время как для полноты исследования следует провести непосредственный расчет энергетики визирования.

16. В автореферате не приведены конкретные требования к характеристикам бортовой аппаратуры РСА, необходимые для реализации описываемых режимов съемки.

17. Описанные искажения геометрии визирования в вертикальной плоскости, вызванные влиянием эффекта, именуемого частотной дисперсией АФАР, очевидно имеют место и в горизонтальной плоскости, анализ чего не упомянут в автореферате.

18. Для соотношения 5 не определена величина разрешающей способности в классическом полосовом режиме съемки $l \times 0$.

19. Неудачно выбрано расположение надстрочного индекса, поясняющего по тексту автореферата и в соотношениях порядковый номер антенного луча k (сверху над параметром), в обозначениях параметров радиолокационного визирования, зависящих от данного номера антенного луча.

20. Из текста автореферата не ясно как получена оценка уровня межканальной неоднозначности, а также чем определяется разброс величины данного параметра в пределах от минус 5 до 3,5 дБ.

21. Практическая ценность работы могла быть значительной при экспериментальном подтверждении полученных результатов.

22. В автореферате не рассмотрены вопросы, связанные со сложностью технологии создания космических АФАР, необходимых для корректной реализации представленных алгоритмов.

23. В тексте автореферата имеются погрешности редакционного характера.

24. Отсутствуют пояснения алгоритма выбора периода повторения зондирующего сигнала, обеспечивающего качественных прием эхо-сигнала в условиях его периодической структуры (стр. 11).

25. Не проведены оценки возможного снижения дальности обнаружения целей вследствие распределения энергии сигнала между отдельными лучами РСА при многолучевом визировании.

26. Не представлено описание имитационной модели РСА, применявшейся для подтверждения результатов исследований.

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 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация» и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **Разработан** сканирующий режим получения радиолокационного изображения в космических РСА, повышающий разрешающую способность при сохранении размера формируемого изображения поперек траектории движения РСА за счет формирования многолучевой диаграммы направленности в горизонтальной плоскости в бортовой цифровой антенной решетке.
- **Разработан** алгоритм частотного разделения антенных лучей в режиме получения радиолокационного изображения в космических РСА, позволяющий минимизировать искажения РЛИ вследствие наложения эхо-сигналов от азимутальных направлений с кратными частоте повторения импульсов значениями доплеровского смещения частоты эхо-сигналов за счет применения низкочастотной фильтрации.

- **Предложен** алгоритм устранения пропусков на радиолокационном изображении, полученном методом многолучевого сканирования по вертикали, в космических РСА, вызванных неустранимым смещением каждого антенного луча в вертикальном направлении при их частотном разделении в цифровой антенной решетке за счет введения компенсирующих отклонений многолучевой ДН по горизонтали.
- **Разработан** прожекторный режим получения радиолокационного изображения в космических РСА, позволяющий увеличивать размеры изображения по направлению движения РСА при сохранении разрешающей способности за счет формирования многолучевой диаграммы направленности в горизонтальной плоскости в бортовой цифровой антенной решетке.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что предложен метод преодоления ограничений, накладываемых эффектом неоднозначности, на реализацию широкозахватных режимов получения радиолокационного изображения с высоким разрешением на основе принципов цифрового формирования многолучевой диаграммы направленности в горизонтальной плоскости на прием с частотным разделением лучей в радиолокаторах с синтезированной апертурой космического базирования, являющийся дальнейшим развитием данных радиолокационных систем

Значение полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что результаты диссертации **внедрены** в АО «НИИ ТП» в рамках проведения опытно-конструкторских работ по темам «Касатка», «Касатка-Макет», «Касатка-Р», «АФАР», посвященных созданию радиолокационного комплекса дистанционного зондирования Земли для

космического комплекса «Обзор-Р» что подтверждается актом о внедрении, прилагаемым к диссертации.

Достоверность результатов исследований подтверждаются:

- корректностью постановки задачи исследования и применением адекватного математического аппарата;
- применением известных и хорошо зарекомендовавших себя пакетов программ численного моделирования;
- совпадением результатов исследований с результатами имитационного моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в:

- **Разработке** режимов получения радиолокационного изображения земной поверхности в космических РСА при цифровом формировании многолучевой диаграммы направленности;
- **Оценке** влияния эффекта частотной зависимости положения антенных лучей по вертикали в РСА на характеристики формируемого радиолокационного изображения.
- **Проведении** компьютерного имитационного моделирования разработанных режимов получения радиолокационного изображения
- **Подготовке** основных публикаций по работе и личном участии в 13 конференциях по тематике исследований.

На заседании 31 октября 2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Булыгину М.Л. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по специальности 05.12.14 – «Радиолокация и радионавигация», участвующих в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» 15, «против» 0, недействительных бюллетеней 1.

Председатель

диссертационного совета Д. 212.125.03,

д.т.н., профессор

Д.И. Воскресенский

Ученый секретарь

диссертационного совета Д. 212.125.03,

д.т.н.

М.И. Сычев

01 ноября 2018 г.

И.о. начальника отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина

