



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Россия, Санкт-Петербург, 190005, 1-я Красноармейская ул., д.1. Тел.: (812) 316-2394, факс: (812) 316-2409,  
e-mail: komdep@bstu.spb.su, www.voenmeh.ru  
ИНН 7809003047

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

\_\_\_\_\_ К.М.Иванов

« 27 » \_\_\_\_\_ октября 2017 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»

Диссертация «Методы и алгоритмы обработки гетеродинного сигнала ветрового лидарного профилометра системы метеобеспечения авиационной безопасности» выполнена на кафедре Лазерной техники Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

В период подготовки диссертации с 2006г. по настоящее время соискатель ПЕНКИН Михаил Сергеевич работал в научно-производственном предприятии «Лазерные системы» в должности старшего инженера опытного производства, с 2014 года в должности заместителя директора по производству.

В 2003г. он окончил Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова по направлению «Авиа- и ракетостроение», получив диплом магистра техники и технологий.

С 2003 по 2006 годы обучался в очной аспирантуре БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения».

С 2003г. по 2006г. работал в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова на должности инженера кафедры «Лазерная техника».

Сдача кандидатских экзаменов подтверждается удостоверением, выданным в 2015г. в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Научный руководитель - кандидат технических наук АХМЕТЬЯНОВ Валерий Равизович. Основное место работы - АО «НПО «ЛЕПТОН», базовая организация кафедры “Системы, устройства и методы геокосмической физики” Московского физико-технического института, старший научный сотрудник.

По итогам обсуждения диссертации «Методы и алгоритмы обработки гетеродинного сигнала ветрового лидарного профилометра системы метеообеспечения авиационной безопасности» **принято следующее заключение.**

***Тема диссертации является актуальной.***

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 07 июля 2011 г. №899 технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды отнесены к критическим технологиям РФ. Оперативный высокоточный мониторинг текущей ветровой обстановки очень важен в районе крупных аэропортов с целью обеспечения безопасности полётов, для исследования атмосферных вихрей в задаче прогнозирования погодных условий, а также при проведении экологического мониторинга в местах выброса в атмосферу загрязняющих веществ. Традиционным методом оценивания скорости ветра является использование прямых датчиков или акустических анемометров, устанавливаемых на метеорологических мачтах. Однако для определения параметров структуры поля скоростей ветра в настоящее время все большее распространение получают системы дистанционного зондирования. Они обладают несравнимо большей оперативностью, информативностью и точностью.

Все дистанционные методы оценивания скорости ветра можно разделить на четыре класса: радиолокационные, акустические, радиоакустические и лидарные. Основные ограничения аппаратуры первых трёх методов заключаются в том, что:

1. Радиолокационные устройства не позволяют измерить параметры ветра при отсутствии осадков или специальных трассеров в атмосфере.

2. Радиоакустическая аппаратура чрезвычайно чувствительна к искажению формы фронта отраженного от акустической волны радиосигнала. Такие искажения возникают в условиях сильной турбулентности в атмосфере.

3. Применение акустических систем эффективно в случае низкого уровня акустических шумов. Поэтому использование такой аппаратуры при наличии высоких шумовых помех, например, на аэродромах, практически невозможно.

Методы дистанционного получения профиля ветра в атмосфере с помощью доплеровских лидаров основаны на использовании когерентного импульсного или непрерывного излучения. Несмотря на то, что дальность измерений импульсных систем достигает 10-20 км, их недостатком является наличие «мертвой зоны», которая нередко составляет десятки и даже сотни метров. В то же время ветровые лидары или лидарные профилометры с непрерывным когерентным излучением имеют диапазон рабочих

дальностей от единиц до нескольких сотен метров и характеризуются приемлемыми массогабаритными параметрами.

Большой вклад в решение проблем разработки и эксплуатации когерентных оптико-электронных систем внесли ученые и инженеры России, Германии, Франции и США. Основные результаты в этом направлении изложены в работах Банаха В.А., Борейшо А.С., Зуева В.В., Зуева В.Е., Мальцева Г.Н., Матвиенко Г.Г., Смалихо И.Н., Каневского М.И., Баранова Н.А., Шарова С.Н., Гордиенко В.М., Путивского Ю.Я., Вернера Х., Вергена В., Кресса А., Лайке И., Штрайхера Ю., Хендерсона С., Хэннона С., Хуффакера Р., Мензиса Р., Билбро Дж. и других.

Особую актуальность приобретает разработка современных, простых в обслуживании, надежных и компактных ветровых когерентных доплеровских лидарных профилометров непрерывного типа с коническим сканированием. В настоящее время профилометры указанного типа являются практически единственным средством, позволяющим осуществлять мониторинг ветровой обстановки и, в частности, такого опасного явления, как сдвиг ветра, на высотах от 3 до 300 метров.

В то же время несмотря на достигнутые успехи до сих пор не получили должного развития вопросы, связанные с разработкой информационного обеспечения этих систем. Применение сложных и перспективных методов обработки сигналов ветровых лидаров ранее ограничивалось недостатком вычислительных мощностей. Однако, постоянное развитие технологий цифровой обработки данных, как на аппаратном, так и программном уровнях, позволяет применять все более сложные методы обработки сигналов в реальном масштабе времени. В результате появляется возможность вывести структуру, состав и характеристики информационного обеспечения ветровых лидаров, а также и его программно-алгоритмической части на качественно новый уровень, и тем самым повысить степень авиационной безопасности.

Наличие отмеченных факторов делает задачу обоснования, разработки и исследования новых эффективных методов и алгоритмов обработки сигналов ветровых когерентных доплеровских лидарных профилометров непрерывного типа с коническим сканированием весьма актуальной.

#### ***Цели и задачи диссертации:***

Целью диссертационной работы является разработка математической модели измерительного процесса, состава и структуры программно-алгоритмического обеспечения ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра с непрерывным излучением и коническим сканированием в системе метеорологического сопровождения авиационной безопасности.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы следующие задачи:

1. Анализ средств мониторинга ветровой обстановки в зоне аэропортов в системе метеорологического обеспечения авиационной безопасности воздушных судов на этапах их взлета и посадки с целью выявления преимуществ и недостатков существующих комплексов.

2. Теоретическое исследование с целью обоснования выбора математической модели локационного сигнала ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием.

3. Разработка и исследование методов, алгоритмов и программ обработки сигналов, регистрируемых когерентным доплеровским лидарным профилометром непрерывного типа с коническим сканированием, для получения оценки скорости ветра.

4. Проверка эффективности разработанных методов и алгоритмов обработки экспериментальных реализаций сигналов.

***Основные результаты диссертации:***

1. Теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение модели локационного сигнала ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием.

2. Методика обработки локационного сигнала ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием.

3. Для обработки спектра локационного сигнала ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием предложено использовать метод деления разрядной сетки при одновременном подавлении импульсных помех и аддитивного шума.

4. Структура программно-алгоритмического обеспечения системы обработки локационного сигнала ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием.

5. Результаты измерения вихревого следа самолета Боинг 737-800 в приземном слое атмосферы с помощью отечественного когерентного доплеровского лидарного профилометра импульсного типа ПЛВ-2000.

***Научная новизна работы*** состоит в том, что впервые:

1. Предложена модель локационного сигнала ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием в приземном слое атмосферы, которая учитывает неравномерность спектрального фона.

2. В соответствии с предложенной моделью локационного сигнала разработана методика обработки данных ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием с целью определения сдвига ветра на заданных высотах для использования в системе метеорологического обеспечения авиационной безопасности.

3. Для обработки сигналов ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием на этапе выделения неравномерного спектрального фона использован метод деления разрядной сетки, основанный на одновременном подавлении импульсных помех и

аддитивного шума. Данный метод позволяет осуществить вместо последовательной параллельную обработку и тем самым обеспечить повышение быстродействия алгоритма на время, требуемое для подавления отдельно импульсных помех, либо аддитивных шумов.

4. Показано, что разработанное математическое обеспечение в составе ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием является подсистемой информационного обеспечения.

5. Впервые в России проведены измерения вихревого следа самолета Боинг 737-800 в районе аэропорта Пулково с помощью отечественного когерентного доплеровского лидарного профилометра импульсного типа ПЛВ-2000. Полученные материалы позволяют усовершенствовать математические модели образования вихревых следов летательных аппаратов в приземном слое атмосферы, а также исследовать динамику их развития и тем самым сформулировать рекомендации по обеспечению требуемого уровня авиационной безопасности.

**Практическая ценность** результатов диссертации заключается следующем: разработанные математическая модель измерительного процесса и программно-алгоритмическое обеспечение ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа в системе метеорологического сопровождения авиационной безопасности, направленные на решение задачи формирования оперативных сведений о сдвиге ветра и вихревом следе самолета в приземном слое атмосферы в зоне взлетно-посадочной полосы (ВПП) аэродрома, позволяют повысить эффективность принятия решений авиадиспетчерами командно-диспетчерского пункта (КДП) аэропорта.

Положения, разработки и научно-практические рекомендации диссертации по использованию математической модели измерительного процесса и программно-алгоритмического обеспечения ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием в системе метеорологического сопровождения авиационной безопасности внедрены в ООО «НПП «Лазерные системы» при создании профилометра лидарного ветрового ПЛВ-300 с монитором оператора, в разработке и испытаниях, как аппаратной части, так и информационного обеспечения, которого автор принимал непосредственное участие, а также методы, алгоритмы и методика обработки данных ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра использованы при разработке требований к составу и облику комплекса средств фундаментального обеспечения глобальной навигационной системы ГЛОНАСС в Акционерном обществе «Институт прикладной астрономии».

Результаты диссертационной работы используются также в учебной и научной работе кафедры И1 БГТУ «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф.Устинова.

**Обоснованность и достоверность результатов и выводов.**

1. Полученные результаты согласуются с теоретическими расчетами и результатами, описанными в литературе.

2. Разработанные методики проверены на практике.

3. Проверка диапазона и погрешности измерения ветровым когерентным доплеровским лидарным профилометром непрерывного типа с коническим сканированием скорости и направления ветра на высотах от 3 м до 300 м с задаваемой кратностью (10 -100 м) произведена в процессе сертификационных испытаний на базе измерительного комплекса ВММ-310 ФГБУ «НПО «Тайфун». На основании проведенных испытаний Комиссией МАК по сертификации аэродромов и оборудования на профилометр ПЛВ-300 выдан сертификат типа оборудования № 544.

*Материалы диссертации опубликованы автором достаточно полно в следующих работах:*

1. Ахметьянов, В.Р., Васильев, Д.Н., Ключков, Д.В., Коняев, М.А., Пенкин, М.С., Орлов, А.Е., Петров, Г.А., Царев, З.С., Шаталов, И.В., Ширяев, И.Ф. Доплеровский лидарный профилометр для измерения параметров ветра //Измерительная техника.-2013-№6.-С. 35-39.

2. Ахметьянов, В.Р., Васильев, Д.Н., Ключков, Д.В., Коняев, М.А., Пенкин, М.С., Орлов, А.Е., Петров, Г.А., Царев, З.С., Шаталов, И.В., Баранов, Н.А., Каневский, М.И., Тезадов, Я.А. Лидарный доплеровский профилометр для измерения параметров ветра в составе наземного комплекса метеорологического обеспечения аэронавигации // Авиакосмическое приборостроение. – 2013. №9. – С. 41-52.

3. Ахметьянов, В.Р., Васильев, Д.Н., Коняев, М.А., Мишина, О.А., Пенкин, М.С., Петров, Г.А., Тезадов, Я.А., Шаталов, И.В., Ширяев, И.Ф. Методы и алгоритмы обработки данных ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра с коническим сканированием // Журнал радиоэлектроники (Электронный). – 2013. №10. – С. 20.

4. Ахметьянов, В.Р., Мишина, О.А., Пенкин, М.С. Оценивание скорости ветра лидарными методами. // Высокие технологии, экономика, промышленность. Т. 1: Сборник статей Тринадцатой международной научно-практической конференции “Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике”. 24-26 мая 2012 года, Санкт-Петербург, Россия. / Под ред. А.П.Кудинова. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 17 – 19.

5. Петров, Г.А., Ахметьянов, В.Р., Ширяев, И.Ф., Пенкин, М.С., Ливенцов, Р.А. Алгоритм вычисления скорости и направления ветра сканирующим доплеровским лидаром. // Труды конференции “Лазеры, Измерения. Информация.” 5-7 июня 2012 года, Санкт-Петербург, Россия. / Под ред. Профессора В.Е.Привалова. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 98.

6. Akhmetyanov, V.R., Liventsov, R.A., Penkin, M.S., Tsarev, Z.S., Shiryayev, I.F. Research of spectral linewidth influence of the laser generation on level of backscattered signal from the atmosphere. // 15<sup>th</sup> International Conference on Laser Optics” (LO - 2012). St.Petersburg, Russia, June, 25-29, 2012.: Conference materials: Lasers in environmental monitoring. / <http://laseroptics.ru/>.

7. Ахметьянов, В.Р., Пенкин, М.С. Доплеровский метеолidar для измерения скорости ветра. // Региональная информатика (РИ–2012). Юбилейная XIII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ–2012)». Санкт-Петербург, 24 – 26 октября 2012 г.: Материалы конференции / СПОИСУ. – СПб, 2012. - С. 330.

8. Пенкин, М.С. Ветровой доплеровский лидар. // Высокие технологии, исследования, образование, экономика. Т. 1: Сборник статей Четырнадцатой международной научно-практической конференции “Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике”. 4-5 декабря 2012 года, СПб, Россия. / Под ред. А.П.Кудинова. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 211 – 212.

9. Борейшо, А.А., Ахметьянов, В.Р., Васильев, Д.Н., Заморин, И.С., Пенкин, М.С., Клочков, Д.В. Место и роль лидарного профилометра в системе метеобеспечения аэропорта // «МЕТЕОСПЕКТР». – 2012. - №4, - С. 62-67.

10. Андреев, М.А., Васильев, Д.Н., Пенкин, М.С., Смоленцев, С.Г., Борейшо, А.С., Клочков, Д.В., Коняев, М.А. Орлов, А.Е., Чугреев, А.В. Когерентные доплеровские лидары для мониторинга ветровой обстановки. // Научно-технический журнал «Фотоника». - 2014. №6. - С. 20-29.

11. Орлов, А.Е., Баранов, Н.А., Андреев, М.А., Пенкин, М.С. Моделирование режимов и параметров процесса дистанционного мониторинга вихревых следов самолетов // Лазерная и ракетно-космическая техника XXI века: сборник научных трудов / Под. ред. В.А. Бабука и А.С. Борейшо; Балт. гос. Техн. Ун-т.- СПб., 2016. с. 123-131.

12. Пенкин, М.С., Борейшо, А.С., Коняев, М.А., Орлов, А.Е., Баранов, Н.А. Детектирование вихревого следа самолета с помощью когерентного доплеровского лидара. // Инженерно-физический журнал - 2017. Том 90. № 4 (июль-август). - С. 997-1004.

*Личный вклад соискателя* в работах с соавторами заключается в следующем:

Основные результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Во всех работах, которые выполнены в соавторстве, соискатель непосредственно участвовал в постановке задач, обсуждении методов их решения, получении и анализе результатов исследований.

*Основные результаты работы* докладывались на следующих научных конференциях и семинарах:

Основные результаты диссертационной работы докладывались на 5 международных, в том числе на Тринадцатой и Четырнадцатой международных научно-практических конференциях “Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике” (СПб, 24-26 мая и 4-5 декабря 2012 г.); Международной научной конференции “Лазеры. Измерения. Информация.” (СПб, 5-7 июня 2012 г.); Юбилейной XIII Санкт-Петербургской международной конференции “Региональная информатика (РИ–2012)” (СПб, 24 – 26 октября 2012 г.); а также на заседании «Состояние и перспективы лазерной локации атмосферы и подстилающей поверхности» семинара «Дистанционные методы зондирования природной среды» (СПб, ВКА им. А.Ф.Можайского, 16 мая 2013 г.).

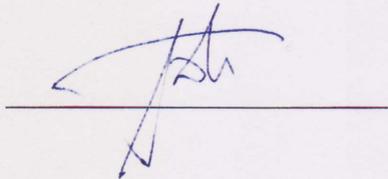
*Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 25.00.30-метеорология, климатология, агрометеорология, в частности, пунктам*

п.8 - «Облака, аэрозоли, осадки; спутниковые и радиолокационные исследования».

п.10 - «Пограничные слои в атмосфере и океане».

Диссертация «Методы и алгоритмы обработки гетеродинного сигнала ветрового лидарного профилометра системы метеобеспечения авиационной безопасности» **ПЕНКИНА Михаила Сергеевича** рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **25.00.30- метеорология, климатология, агрометеорология.**

Заключение принято на заседании кафедры Лазерной техники Балтийского государственного технического университета «Военмех» имени Д. Ф. Устинова. Присутствовало на заседании 12 человек. Результаты голосования: «за»- 12, «против»- 0, «воздержались»- 0. Протокол № 18 от 25 октября 2017 года.



Борейшо А. С.  
д.т.н., профессор,  
кафедра И1 БГТУ «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф.Устинова  
заведующий кафедрой