

«УТВЕРЖДАЮ»

Врио директора ФГБУ «ГГО»

 С.Ю. Гаврилова  
« 05 » *апреля* 2018 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Пенкина Михаила Сергеевича «МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ГЕТЕРОДИННОГО СИГНАЛА ВЕТРОВОГО ЛИДАРНОГО ПРОФИЛОМЕТРА СИСТЕМЫ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология и агрометеорология

Диссертационная работа Пенкина М.С. посвящена разработке методов математического и программно-алгоритмического обеспечения ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием. В связи с необходимостью обеспечения высокого уровня авиационной безопасности, особенно в районах крупных аэропортов, важной задачей является оперативный мониторинг физических процессов, протекающих в приземном слое атмосферы, а именно текущей ветровой обстановки. Вопросы влияния различных факторов на измерение скорости ветра с помощью ветровых когерентных доплеровских лидаров рассматриваются в представленной работе.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 102 наименований. Основная часть работы содержит 146 страниц, 49 рисунков и 7 таблиц.

**Во введении** обсуждается актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, раскрыты научная новизна и практическая значимость, приведены результаты апробации работы. Сформулированы результаты исследований, выносимых на защиту, приведены сведения об объеме и структуре работы. Дана развернутая характеристика содержания диссертации по главам. Приводятся детальные данные о характеристиках приборов, технических решениях. Представлены сведения об апробации работы.



Актуальность работы не вызывает сомнения, т.к. разработка и внедрение оптико-электронных приборов в практику метеорологических измерений – один из путей совершенствования качества получаемой информации.

**В первой главе** представлены общие сведения об атмосфере и движении воздуха в атмосфере. Отметим некоторую избыточность общеизвестных сведений, которые затрудняют восприятие основной идеи диссертации. Это же касается и описания эффекта Доплера.

В результате анализа атмосферных ветровых метеоявлений с точки зрения обеспечения авиационной безопасности в аэропортах на этапах взлета и посадки воздушных судов выявлено, что ветровые процессы характеризуются высокой динамикой особенно в приземном слое атмосферы до высот в 600 - 1500 метров. Одним из наиболее опасных метеоявлений при взлете и посадке воздушных судов является сдвиг ветра.

В данной главе приведен сравнительный анализ лидарных профилометров с используемыми датчиками скорости ветра, на основе которого предложено использование в системе метеообеспечения авиационной безопасности разработанного НПП «Лазерные системы» профилометра лидарного ветрового ПЛВ-300 (при непосредственном участии диссертанта). Осуществлено сравнение ПЛВ-300 с другими лидарами, используемыми для измерения ветра.

Показано, что наряду с отработкой аппаратной части ветровых лидарных профилометров, в настоящее время важнейшую роль играет разработка и совершенствование их информационной системы, составной частью которой является программно-алгоритмическое обеспечение. Этому вопросу посвящена диссертационная работа.

**Во второй главе** рассмотрены общие вопросы организации информационного обеспечения ветрового лидарного профилометра в системе метеорологического сопровождения авиационной безопасности аэропортов при решении задач управления воздушным движением авиадиспетчерами.

Представлено теоретическое исследование и обоснование алгоритма измерения профиля ветра при использовании доплеровского лидарного профилометра с непрерывным излучением и коническим сканированием. Одно из основных допущений, используемых в работе, заключается в том, что лазерное излучение по мере распространения в атмосфере рассеивается на аэрозольных частицах, увлекаемых ветром, скоростные характеристики которого за время измерения практически не изменяются. С учетом скорости движения этих частиц частота обратно рассеянной волны изменяется согласно эффекту Доплера. Приводится алгоритм обработки данных ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием. В главе также подробно изложена методика расчета сдвига ветра.

Рассматриваются вопросы определения центральной частоты в доплеровском спектре полезного сигнала и решение системы уравнений для получения значений составляющих полного вектора скорости ветра. Целью алгоритма обработки спектров служит подавление шумов в исходных спектрах и выделение доплеровского спектра



полезного сигнала. Эта часть работы отличается новизной и является важным этапом в разработке математического алгоритма обработки сигнала.

**Третья глава** посвящена методам обработки сигнала ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра. Рассматриваются вопросы, связанные с обработкой гетеродинного сигнала после проведения преобразования Фурье. Исходными данными для решения задачи выделения полезного сигнала служат усреднённые спектры на выходе АЦП лидарного профилометра, включающие спектр шума. Рассматриваются вопросы фильтрации шума, решается вопрос о выделении центральной доплеровской частоты полезного сигнала и далее определяется радиальная составляющая скорости ветра.

Важным является использование в данной работе метода деления разрядной сетки, который позволяет при одновременном подавлении аддитивного шума в скользящем окне выделять полезный Доплеровский сигнал.

В данной главе с достаточной полнотой приводятся алгоритмы и формулы для обработки сигнала.

**Четвертая глава** посвящена рассмотрению вопросов обработки экспериментальных данных ветрового лидарного профилометра.

В качестве экспериментальной установки, на которой были отработаны предложенные в диссертации методы и алгоритмы обработки информации, использовался ветровой лидарный профилометр ПЛВ-300, разработанный в НПП «Лазерные системы». Приводится описание и характеристики лидара, а также системы управления и сбора данных, типовой алгоритм работы. Эта информация полезна, но несколько избыточна.

Рассматриваются результаты натуральных экспериментов. Достоинством данной работы является то, что автор провел сопоставление полученных результатов измерений с синхронными измерениями комплекса ВММ-310 на испытательном полигоне ФГБУ «НПО «Тайфун». Установлено, что пределы допустимой погрешности измерения скорости и направления ветра находились в следующих пределах:  $\pm 0,5$  м/с при скорости ветра до 5 м/с;  $\pm 10\%$  при скорости ветра более 5 м/с;  $\pm 10^\circ$  по направлению ветра.

На основании проведенных испытаний Комиссией Межгосударственного авиационного комитета по сертификации аэродромов и оборудования на профилометр ПЛВ-300 выдан сертификат типа оборудования № 544.

Были проведены эксперименты по исследованию вихревых следов ряда самолетов в аэропорту Пулково. Полученные данные являются оригинальными и позволяют усовершенствовать математические модели образования вихревых следов летательных аппаратов в приземном слое атмосферы.

**В заключении** приведены итоги исследования, изложены основные положения, а также сделаны выводы.



**Новизна полученных результатов исследования** заключается в том, что разработана новая методика обработки данных ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием с целью определения сдвига ветра для использования в системе метеорологического обеспечения авиационной безопасности. Использован метод деления разрядной сетки, основанный на одновременном подавлении импульсных помех и аддитивного шума. Впервые в России проведены измерения вихревого следа самолета Боинг 737-800 в районе аэропорта Пулково.

**Научная значимость результатов работы** заключается в том, что разработанный алгоритм обеспечивает обработку сигнала ветрового когерентного доплеровского лидара.

**Практическое значение** работы связано с обоснованием возможности использования лидаров для определения профиля ветра.

**К основным недостаткам** можно отнести следующее:

1. Не исследован случай чистой атмосферы, не ясно, как поступать при отсутствии аэрозольных образований.
2. Отсутствует информация о том, как будет работать система в сложных метеорологических условиях: снегопад, сильный ливень, туман и др., автору следовало бы определить возможные метеорологические границы использования лидара.
3. В работе нет данных о том, в каком соотношении делить разрядную сетку.
4. Желательно было бы выполнить большее количество натуральных экспериментов, которые могли бы дать новые сведения о поле ветра в приземном слое атмосферы.
5. Было проведено сравнение результатов измерений с помощью лидара и комплекса ВММ-310, получены пределы допустимой погрешности измерений. Однако, следовало бы этому вопросу уделить большее внимание, определив систематическую и случайную погрешности измерений, инструментальную и методическую погрешности измерений.

Сделанные замечания и пожелания не снижают ценности работы, а, в значительной степени, направлены на рекомендации для дальнейших исследований. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и является завершённым научным исследованием, результаты исследования прошли достаточную апробацию как на российском, так и международном уровне. Автореферат в целом отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Пенкина Михаила Сергеевича «Методы и алгоритмы обработки гетеродинного сигнала ветрового лидарного профилометра системы метеообеспечения авиационной безопасности», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, полностью соответствует требованиям ВАК, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30- Метеорология, климатология, агрометеорология. Диссертация представляет собой завершённую научно-



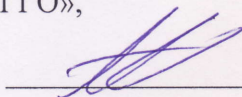
исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, и соответствует пункту 7 «Положения о порядке присуждения учёных степеней». Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно Постановлению Правительства России от 24 сентября 2013 года №842 «О порядке присуждения ученых степеней», а соискатель Пенкин Михаил Сергеевич заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.30 – “Метеорология, климатология и агрометеорология”.

Отзыв на диссертацию составлен главным научным сотрудником, доктором технических наук Синькевичем Андреем Александровичем.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании Ученого совета ФГБУ «ГГО»  
«23» марта 2018 г.

Главный научный сотрудник ФГБУ «ГГО»,

д.т.н.



А.А.Синькевич

194021, Россия, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, дом 7  
+7 (812) 297-43-90, <http://voeikovmgo.ru>, [director@main.mgo.rssi.ru](mailto:director@main.mgo.rssi.ru)  
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая  
обсерватория им. А.И. Воейкова»

Подпись А.А.Синькевича заверяю

Ученый секретарь

к.г.н.



И.Н. Шанина