

О Т З Ы В

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора
Стерлядкина Виктора Вячеславовича

на диссертационную работу 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»

Задача дистанционного определения параметров ветрового поля интересует широкий круг потребителей. Важные примеры - оперативное наблюдение за текущей ветровой обстановкой в задачах обеспечения безопасности пилотирования самолетов, при проведении экологического мониторинга, при прогнозировании погодных условий. Эта задача не проста по нескольким причинам. Главное в том, что задача является обратной, поскольку физические характеристики потоков: скорости, пульсации скорости извлекаются из некоторых интегральных и усредненных данных, полученных при рассеянии электромагнитных волн. Корректное решение такого вида обратных задач должно опираться на адекватные модели самого измеряемого поля скоростей, схему формирования измеряемых сигналов и на алгоритмы выделения полезной информации при малых отношении сигнала к шуму.

Когерентный доплеровский лидар является почти единственным дистанционным средством, позволяющим проводить измерения ветра в большинстве метеоусловий.

Настоящая диссертационная работа является продолжением и развитием исследований в области оптико-электронных систем оперативного мониторинга приземного слоя атмосферы. В связи с этим тема диссертации, посвященная вопросам формирования и обработки гетеродинного сигнала ветрового лидарного профилометра системы метеообеспечения авиационной безопасности, несомненно, является актуальной. Особую важность приобретают вопросы обработки и накопления получаемых сигналов в условиях, когда уровень сигнала меньше, чем уровень шумов. Этой **актуальной** проблеме и посвящена рецензируемая работа.

В диссертации Пенкина М.С. использует современный математический аппарат, физически обоснованные модели среды, механизмы формирования рассеяния сигнала, статистические методы обработки. Это обеспечивает **достоверность полученных теоретических выводов и экспериментальных результатов.** Дополнительным фактором надежности полученных выводов и

рекомендаций является неплохое соответствие полученных экспериментальных данных с результатами независимых измерений.

Ряд результатов работы и предложенные методы обработки данных являются **новыми**. К ним относятся:

1. При обработке сигнала ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа учитывается неравномерность спектрального фона, позволяющая применять единую обработку спектров во всем диапазоне частот.

2. 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 избавиться от искажений и осуществить параллельную обработку, тем самым обеспечить повышение быстродействия алгоритма.

3. Разработанное математическое обеспечение в составе ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа с коническим сканированием вошло как подсистема в комплексную систему информационного обеспечения полетов.

4. Впервые в России проведены измерения вихревого следа самолета Боинг 737-800 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.

Для достижения поставленной цели исследований автором ставится ряд частных задач, результаты решения которых в своей совокупности составляют научно-методический аппарат разработки математического и программного обеспечения системы обработки гетеродинного сигнала ветрового лидарного профилометра.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы. Во введении поставлена цель работы, обоснована ее актуальность. Изложена новизна результатов, достоверность и практическая значимость.

В **первой** главе проводится анализ свойств ветровых лидарных профилометров с непрерывным когерентным излучением, их сравнение и известными средствами измерений.

Вторая глава посвящена обсуждению структуры информационной системы авиа диспетчера, в которую составным элементом входит ПЛВ-300. Обсуждены вопросы обработки, хранения, накопления экспериментальных данных, которые в последующем позволят лучше уточнить критерии опасных ситуаций. Представляется разумным предложение автора работы по

использованию накопленных в конкретном месте метеоданных для предсказания опасных явлений на основе текущих параметров ветра.

В **третьей** главе исследуются методы и алгоритмы обработки сигнала ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра с непрерывным излучением и коническим сканированием. Отметим, что рассеянное излучение имеет очень малую мощность, что приводит к тому, что уровень полезного сигнала, как правило, ниже уровня шумов. Поэтому вопросы обработки сигналов для конкретной измерительной системы всегда являются самой тонкой задачей. В диссертации эта задача решена. Решены вопросы отбраковки случайных выбросов, накопления данных во времени, пространственное накопление за счет минимизации невязки по различным направлениям зондирования. В этой части соискатель проявил себя с лучшей стороны.

Четвертая глава посвящена обработке экспериментальных данных ветрового лидарного профилометра и рекомендациям по совершенствованию его применения. Описан как сам профилометр, так и результаты его применения в различных метеоусловиях. Не совсем стыкуется с объявленной целью работы использование импульсного лидара. Однако, полученные с его помощью результаты представляют явный практический интерес для обеспечения безопасности полетов.

По диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1. Отсутствие графиков или таблиц по зависимости высотного разрешения от высоты зондирования для конкретного профилометра.
2. Оценки показывают, что на заявленной высоте измерений 300 м вертикальная протяженность объёма разрешения составляет около 100м. Возникает вопрос о возможности распознавания вертикальных ветровых сдвигов, приведенных к 30 метрам высоты. Существующие сдвиги при этом сгладятся. Моделирование и расчеты процессов сглаживания сдвигов ветра в тексте диссертации не приводятся.
3. В работе явно не хватает экспериментальных данных. Не приводятся формы спектров и результаты в различных погодных условиях. Отсутствуют оценки степени всепогодности прибора. Неясно, в каких условиях измерения ветра невозможно.
4. В диссертации нет оценки обнаружительного потенциала лидара, основанной на известных данных о сечении обратного рассеяния аэрозолей. При каких метеоусловиях уровень отношения сигнал/шум допускает измерение скорости ветра?
5. В работе все модели и методики восстановления скорости ветра построены на предположении о «замороженности» поля ветра в пределах конуса измерений. Но опасные явления, сдвиги ветра, микропорывы и т.д. сопровождаются интенсивной турбулентностью. К каким погрешностям это приведет? Моделирование турбулентных пульсаций в работе не проводилось.
6. Измерения вихревого следа самолетов за рубежом проводились и ранее, следовательно, пункт 5 научной новизны верен только в части

разработки российского аналога измерителя ветровых характеристик атмосферы.

Однако, несмотря на отмеченные недостатки, в работе проведена существенная работа по отработке алгоритмов и программного обеспечения лидарного профилометра ПЛВ-300. Достоинством работы является тот факт, что отработка методик проводилась для конкретного прибора с реальными экспериментальными данными. Эта работа всегда необходима, и от ее качества зависят измерительные возможности созданного прибора.

Данные результаты диссертационной работы обладают достоверностью и новизной. Выводы и рекомендации опираются на математическую постановку задач статистической обработки сигналов в информационно-измерительных системах. Основные научные положения в достаточной степени обоснованы с учетом допущений и ограничений. Результаты по пунктам 2,3,4 автореферата можно рассматривать как новые, а по пунктам 1,5 – как дальнейшее развитие известных результатов.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы обеспечивается корректностью использованного математического аппарата, обоснованностью выбора исходных данных, основных допущений и ограничений при постановке и решении научной задачи, а также представленными в работе результатами выполненных экспериментов и широкой апробацией результатов исследований.

Значимость и практическая направленность работы не вызывают сомнений. Разработанные модели измерительного процесса и программно-алгоритмическое обеспечение ветрового когерентного доплеровского лидарного профилометра непрерывного типа направлены на решение задачи формирования оперативных сведений о сдвиге ветра и вихревом следе самолета в приземном слое атмосферы в зоне взлетно-посадочной полосы аэродрома. Результаты работы позволяют повысить эффективность принятия решений авиадиспетчерами командно-диспетчерского пункта аэропорта. О практической значимости работы можно также судить по имеющимся актам внедрения в ООО «НПП «Лазерные системы». Автор **принимал непосредственное участие** при создании профилометра ПЛВ-300, в разработке и испытаниях, как аппаратной части, так и информационного обеспечения.

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.

Автореферат диссертации отражает ее основное содержание, основные положения диссертации опубликованы в 12 печатных трудах, включая три статьи из перечня изданий, рекомендованных ВАК.

Диссертация написана хорошим языком и аккуратно оформлена. Структура диссертации представляется в целом удачной.

Общее заключение по диссертации.

Диссертация Пенкина М.С. выполнена на актуальную тему на высоком научном уровне, замечания не снижают ее ценности, а основные результаты диссертации характеризуются теоретической значимостью, имеют практическую направленность и апробированы на производстве.

Диссертационная работа “Методы и алгоритмы обработки гетеродинного сигнала ветрового лидарного профилометра системы метеобеспечения авиационной безопасности” удовлетворяет 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”.

Официальный оппонент
профессор кафедры «Физика»
ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (МИРЭА),
доктор физико-математических наук, профессор

В.В. Стерлядкин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский технологический университет»

107996, г. Москва, ул. Стромынка, д. 20. Тел.: +7-499-6813356, моб. тел. +7-916-6317072, E-mail: sterlyadkin@mail.ru.

Подпись профессора В.В. Стерлядкина

Заверяю

Начальник
Управления кадров



Филатенко Л.Г.