

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

На правах рукописи

ПАНЧЕНКО АЛЕКСАНДР КРЬЕВИЧ

*Панченко*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РАДИОАКУСТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ  
И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ  
ВЫСОТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ  
В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

01.04.03 - Радиопизика

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1993

Работа выполнена в Харьковском институте радиозлектроники  
Министерства образования Украины

Научный руководитель - доктор физико-математических наук  
Андреанов Владимир Андреевич  
(Институт радиотехники и электроники  
Российской Академии наук)

Официальные оппоненты - доктор технических наук  
Пономарев Владимир Ильич  
(Харьковский авиационный институт)

кандидат физико-математических наук  
Розуменко Виктор Тимофеевич  
(Харьковский государственный университет)

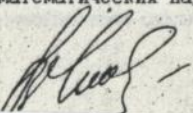
Ведущая организация - Институт радиофизики и электроники  
Академии наук Украины

Защита состоится 8 октября 1983г. в 15 час. 30 мин. на  
заседании специализированного совета Д.053.06.04 в Харьковском  
государственном университете (310077, г. Харьков, пл. Свободы,  
4 Ауд. 3-9)

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной  
библиотеке Харьковского государственного университета.

Автореферат разослан 8 июля 1983 года.

Ученый секретарь специализированного совета  
кандидат физико-математических наук

  
В.И. Чеботарев

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00753658 (Y)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Условия распространения радиоволн вблизи земной поверхности определяют качество работы систем радиолокации и радиосвязи. В настоящее время для расчета пространственных полей показателя преломления радиоволн используются методы основанные на полученных эмпирически среднесезонных значениях. Такие методы не могут удовлетворить все практические потребности. Непосредственное измерение пространственных распределений индекса показателя преломления  $n$  дорого и не всегда осуществимо технически. Альтернативу прямым измерениям составляет методика восстановления высотных профилей  $n$  основанная на математических моделях динамики свойств и примесей в нижней части тропосферы. Разработке математических моделей турбулентных течений вблизи границы потока, которой для атмосферного воздуха является поверхность Земли, уделено значительное внимание в механике сплошных сред и физике атмосферы. Эти модели с успехом применяются в практических расчетах рассеяния примесей. Однако, в основе этих моделей лежат полуэмпирические теории турбулентности и поэтому их применение не всегда оправдано. Сократить количество используемых эмпирических предположений и тем самым повысить вероятность правильной оценки метеоситуаций можно при наличии метеоданных с возможно большего количества точек контролируемого пространства. Поэтому наиболее перспективным является путь комплексного использования новейших метеоизмерительных средств и современных теорий динамических процессов в атмосфере, позволяющий дать оценку метеоситуации в целом.

Наибольшее внимание сейчас привлекают метеоизмерительные средства, которые не требуют непосредственного контакта с контролируемым объемом. Такие средства основаны на физических эффектах возникающих при взаимодействии волн - акустических и электромагнитных - с атмосферным воздухом. Метод радиоакустического зондирования атмосферы (РАЗ) наиболее полно использует возможности волновых процессов. Акустические волны, как более чувствительные к параметрам атмосферы, воспринимают изменение ее характеристик, а электромагнитные волны, которыми облучают пакет акустических волн, отражаясь от неоднородностей воздуха созданных звуковой посылкой, переносят информацию к месту расположения системы. При продвижении акустического пакета в воздухе определяются метеопараметры вдоль трассы зондирования.

Метод РАЗ позволяет определять основные метеорологические

параметры. В основе методик метеоизмерений лежит решение задачи дифракции электромагнитных волн на неоднородностях воздуха созданных акустическим пакетом. Специфика этой задачи при РАЗ связана с конечными размерами апертур радиоантенны и акустического излучателя. Исследование метода радиоакустического зондирования продолжается уже более двух десятилетий. Но несмотря на значительный прогресс в этих работах, обратные задачи определения параметров атмосферы по характеристикам принимаемых сигналов требуют дальнейших исследований.

Кроме задачи определения условий распространения радиоволн, интерес к дистанционным средствам зондирования и методам оценки метеоситуаций обусловлен, ставшей особенно остро в последние десятилетия, проблемой контроля среды обитания человека. Поэтому исследования связанные с созданием новых метеоизмерительных средств и использованием полученной с их помощью метеоинформации в математических моделях динамических процессов в атмосфере являются актуальными.

Цель работы состоит в развитии теоретических представлений о дифракционных процессах при радиоакустическом зондировании атмосферы, развитии методов анализа характеристик принимаемого сигнала, совершенствовании методики измерения скорости ветра методом РАЗ, разработке методики использования метеоданных полученных с помощью РАЗ для восстановления высотных профилей показателя преломления в атмосферном пограничном слое (АПС) и исследовании физических явлений определяющих условия распространения радиоволн вблизи границы суша-море.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Уточнена радиофизическая модель искусственного отражателя образованного неоднородностями плотности воздуха создаваемыми движущимся пакетом акустических волн.

2. Решена прямая радиофизическая задача рассеяния электромагнитных волн на акустическом пакете при РАЗ и получены уравнения определяющие параметры принимаемого сигнала, которые отличаются от известных ранее.

3. Решена обратная радиофизическая задача определения тангенциальной скорости движения среды, в которой распространяется акустический пакет. На основании этого решения предложен и практически реализован радиоакустический способ измерения скорости ветра.

4. Предложена методика использования метеорологических данных полученных с помощью РАЗ в математической модели турбу-

лентного переноса веществ и свойств в атмосферном пограничном слое для восстановления высотных профилей показателя преломления.

5. Проведены свансы восстановления высотных профилей показателя преломления в характерных метеорологических условиях возникающих вблизи границы суша-море, в результате которых:

- экспериментально показано действие основных термодинамических факторов обуславливающих формирование пространственного распределения показателя преломления вблизи границы суша-море;

- обнаружен эффект образования локальных неоднородностей в воздушном слое лежащем выше уровня ночной инверсии;

- на основании данных ряда наблюдений предложена рабочая гипотеза механизма возникновения локальных неоднородностей и дана оценка флуктуаций показателя преломления в них.

Разработанный в диссертации радиоакустический способ измерения скорости ветра защищен авторским свидетельством на изобретение.

Научное и практическое значение работы состоит в том, что уточнена радиофизическая модель искусственного отражателя образованного неоднородностями плотности воздуха создаваемыми движущимся пакетом акустических волн, что позволяет более точно интерпретировать процесс дифракции электромагнитных волн при РАЗ. Предложено решение прямой радиофизической задачи рассеяния электромагнитных волн на акустическом пакете, которое отличается от известного ранее. Экспериментальная проверка на действующей системе РАЗ показала, что предложенное решение позволяет получить точные соотношения между энергетическими, частотными и пространственными характеристиками принимаемого сигнала и параметрами исследуемой среды.

Решение обратной радиофизической задачи позволило на основании амплитудно-частотных характеристик принятого сигнала определить тангенциальную - относительно направления распространения акустического пакета - скорость движения среды и предложить радиоакустический способ измерения скорости ветра. Этот способ реализован на действующей системе РАЗ, прошел сравнительные измерения и начиная с 1986г. постоянно используется в метеорологических наблюдениях проводимых с помощью РАЗ.

Созданный и опробованный радиоакустический способ измерения скорости ветра позволил на основании известных в физике атмосферы соотношений непосредственно вычислять коэффициент турбулентной диффузии и, решая уравнение турбулентной диффузии для метеопараметров, которые определяют значение показателя прелом-

ления, получать пространственно-временное распределение  $N$  в широком диапазоне метеорологических условий. Методика восстановления высотных профилей  $N$  прошла практическую апробацию вблизи границы суша-море. Построены пространственно-временные поля  $N$  для ряда характерных в данном районе термодинамических состояний атмосферы, что позволило показать действие основных факторов обуславливающих формирование пространственных распределений  $N$  вблизи границы суша-море.

Обнаружен эффект образования локальных неоднородностей в атмосферном слое лежащем выше уровня почвой инверсии и обладающих повышенным коэффициентом отражения для звуковых волн. На основании ряда наблюдений с использованием метеоданных, полученных с помощью РАЗ, предложена рабочая гипотеза механизма возникновения этих неоднородностей, на основании которой дана оценка флуктуаций показателя преломления в них.

Результаты диссертации использовались в научно-исследовательских работах проводимых по постановлению Госплана СССР, Академии наук СССР и Министерства образования Украины в Проблемной лаборатории зондирования атмосферы Харьковского института радиоэлектроники, а также в совместных работах с ИРЭ РАН (г. Москва) по оценке условий распространения радиоволн на приземных трассах, Одесским гидрометеорологическим институтом при исследовании условий возникновения адвективных и радиационных туманов, Институтом экспериментальной метеорологии (г. Обнинск) при исследовании активных воздействий на туманы, Томским институтом оптики атмосферы при исследовании условий разрушения ночных инверсий, Научно-производственным объединением "Скала" при исследовании температурно-ветровых характеристик пограничного слоя атмосферы, в дипломном и курсовом проектировании и учебном процессе.

Основные научные положения выносимые на защиту.

1. Уточненная радиофизическая модель искусственного отражателя образованного неоднородностями плотности воздуха создаваемыми движущимся пакетом акустических волн.

2. Решение прямой радиофизической задачи рассеяния электромагнитных волн на акустическом пакете при РАЗ, отличающиеся от известного ранее, и полученные автором уравнения определяющие параметры принимаемого сигнала.

3. Решение обратной радиофизической задачи определения тангенциальной скорости движения среды, в которой распространяется акустический пакет, и основанный на этом решении радиоакустический способ измерения скорости ветра.

4. Методика использования метеорологических данных полученных с помощью РАЗ в математической модели турбулентной диффузии для восстановления высотных профилей показателя преломления в атмосферном пограничном слое.

5. Результаты сеансов восстановления высотных профилей показателя преломления в характерных метеорологических условиях возникающих вблизи границы суша-море. В том числе:

- действие основных термодинамических факторов обуславливающих формирование пространственного распределения показателя преломления вблизи границы суша-море;

- эффект образования локальных неоднородностей в воздушном слое лежащем выше уровня ночной инверсии;

- рабочая гипотеза механизма возникновения локальных неоднородностей и оценка флуктуаций показателя преломления в них.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Она содержит 124 страницы машинописного текста, 47 рисунков, 3 таблицы и 106 библиографических ссылок.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована цель диссертационной работы, приведены основные научные положения, выносимые на защиту, и кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе рассмотрены вопросы связанные с совершенствованием метода радиоакустического зондирования атмосферы. В разделе 1.1 кратко изложена история развития и современное состояние основных теоретических положений лежащих в основе метода, представлена основная схема бистатического РАЗ. В разделе 1.2 уточнена радиофизическая модель искусственного отражателя образованного неоднородностями плотности воздуха создаваемыми распространяющимся пакетом акустических волн. В основе модели лежит строгое математическое описание работы однонаправленного акустического излучателя в однородной изотропной среде, которое позволило правильно оценить энергетические характеристики системы РАЗ и уточнить зависимости приращения  $n$  при прохождении акустических волн в атмосфере от ее физических характеристик - влажности и изменения давления с высотой. В разделе 1.3 приведено решение прямой задачи дифракции при РАЗ. Отличие от известных решений состоит в том, что сохранена тонкая структура акустического и электромагнитного полей в дальней зоне излучателей возникающая при интерференции волн приходящих из разных точек апертур. Это позволило получить точные расчетные формулы

для поля отраженного сигнала поступающего на вход приемника при любых функциях возбуждения апертур и изменения взаимного положения антенн. Показано, что пространственное распределение амплитуды принимаемого сигнала является сверткой функций возбуждения приемной и передающей радиоантенны и акустического излучателя. Численное интегрирование показало, что при косинусоидальных возбуждениях отличие распределения амплитуды принимаемого сигнала от гауссовской кривой составляет менее 2%. В разделе 1.4 исследуются особенности сигнала на малых высотах, при которых существенно влияние бистатичности систем. Показаны основные факторы приводящие к образованию спектра брэгговских углов при отражении электромагнитных волн от акустического пакета. Получены расчетные соотношения и показаны физические механизмы изменения амплитуды принятого сигнала и возникновения эффекта "затягивания" зондирующей частотой доплеровской частоты принятого сигнала, который приводит к неопределенности измерения температуры до 1.5...2°С. Разработаны практические рекомендации для уменьшения этой неопределенности. В разделе 1.5 приводится решение обратной радиофизической задачи определения тангенциальной скорости движения среды. Решение состоит из двух этапов: на первом - по измеренной амплитуде и частоте принятого сигнала восстанавливается значение коэффициента отражения и величины отраженного сигнала для случая температурно-однородной среды, на втором - для серии таких значений составляется система уравнений, приводится к линейному виду, при этом используются результаты анализа проведенного в разделе 1.3, и решается относительно искомой скорости. Данное решение положено в основу радиоакустического способа измерения скорости ветра, проведен анализ его погрешностей и дано сравнение с другими радиоакустическими способами. Предложенный способ превосходит иные по следующим параметрам: пространственному разрешению - 15...20м, против 80...100м; быстродействию - 3...5с, против 1...2мин; точности - 0.2...0.4м/с, против 1...2м/с. Использование этого способа при практических метеоизмерениях позволило получать необходимую информацию для определения коэффициента турбулентной диффузии, что дало возможность создать методику восстановления высотных профилей показателя преломления.

Во второй главе рассматриваются вопросы применения метеоинформации полученной с помощью метода РАЗ в математической модели переноса веществ и свойств в АПС основанной на уравнении турбулентной диффузии для восстановления высотных профилей  $n$ . В разделе 2.1 кратко представлены современные радиофизические мо-

дели тропосферы и методы оценки высотных профилей  $N$ . Показано преимущество метода расчета, который базируется на моделях динамических процессов в атмосфере. В разделе 2.2 приведены основные сведения о движении атмосферы и показана история развития современных представлений об атмосферной турбулентности. Показаны преимущества использования моделей с уравнением турбулентной диффузии для практических расчетов движения свойств и примесей в АПС. В разделе 2.3 приведена постановка задачи восстановления и рассматриваются особенности применения модели турбулентной диффузии для восстановления профилей  $N$ . При использовании метеоданных полученных с помощью одной системы РЛЗ строгое решение возможно только для одномерной диффузионной задачи. Одномерные задачи с вариациями только по высоте часто используются в физике пограничного слоя, но при реальной работе над неоднородной подстилающей поверхностью пространственные распределения метеовеличин имеют горизонтальные вариации, а процесс диффузии с увеличением высоты сглаживает их. Полученные зависимости дисперсии пространственного распределения примеси по высоте при заданной дисперсии источников на поверхности, показывают, что влиянием небольших неоднородностей имеющих размеры до 100м (отдельные строения, дороги) при оценке высотных профилей  $N$  можно пренебречь. Более крупные неоднородности - до 1км (поля, участки жилой застройки) будут оказывать влияние на нижний (150...200м) участок профилей  $N$ . На распределение  $N$  по всей высоте АПС влияют крупные неоднородности - водоемы, города, промышленные зоны. Сглаживающее действие диффузии по вертикали требует согласования быстрого действия и разрешающей способности систем дистанционного зондирования. Приведены расчеты требуемого количества уровней высотных метеоизмерений для различных состояний атмосферы с учетом технических возможностей дистанционных систем зондирования. В разделе 2.4 представлена методика восстановления высотных профилей  $N$ . Она позволяет оперативно изменять процедуру вычисления  $N$  в зависимости от поступившей метеоинформации. В том случае, если имеются высотные данные по температуре  $T$  и влажности  $h$ , то, вычислив давление по барометрической формуле, можно определить профиль  $N$ . При увеличении атмосферной турбулентности быстро возрастает погрешность измерения  $N$  и когда она превышает 5...10% абсолютного значения относительной влажности, что приводит к погрешности  $N$  в 2...4  $N$ -ед, необходимо использовать уравнение турбулентной диффузии для расчета  $N$ . Измерения температуры возможно при больших значениях турбулентности, но когда погрешность  $T$  превышает

1...2°C, необходимо также использовать расчетный метод. Наземные и высотные данные о скорости ветра используются для расчета коэффициента турбулентной диффузии  $k$ . На нижнем участке  $k$  вычисляется на основании теории подобия Момина-Обухова, выше — по формулам принятым в аэрологических исследованиях. Методика восстановления реализована в виде алгоритмов для ЭВМ. В разделе 2.5 анализируются погрешности восстановления. Показано, что интегрирующее действие диффузии приводит к тому, что погрешность рассчитанных средних значений  $N$  не превышает погрешности обусловленной метеодатчиками. Анализ погрешности численного алгоритма позволил определить оптимальную величину шага сетки интегрирования так, чтобы погрешность вычислений была менее 0.1%—ед. Условия рефракции радиоволн определяются величиной вертикального градиента  $N$ . Погрешность градиента зависит от погрешности метеозамеров, а в зоне, где вычисления производятся на основании уравнения турбулентной диффузии, — погрешность определения  $k$ .

В третьей главе представлены результаты экспериментов. В разделе 3.1 приводится описание местности, где расположен метеополigon и штатной метеозамерительной аппаратуры. Особенность месторасположения в том, что полигон находится вблизи границы суша-море. В разделе 3.2 представлены результаты работ по модернизации системы РАЗ и акустического лоатора, который использовался для визуализации термодинамических процессов в АПС. В системе РАЗ были заменены устройства обработки и измерения амплитудно-частотных характеристик доплеровского сигнала. Акустический лоатор был дополнен быстродействующим блоком измерения разности между принимаемой и зондирующей частотой который позволял определять  $\Delta f$  с погрешностью  $< 10^{-4} f_{\text{ном}}$  за время  $< 10 \mu\text{с}$ , что дало возможность синхронно регистрировать на факзаписи амплитуду и разностную частоту принимаемого сигнала. В разделе 3.3 представлены результаты экспериментов проведенных для проверки основных выводов сделанных в первой главе. Пространственное распределение принимаемого сигнала отличалось от рассчитанного по формулам раздела 1.3 не более, чем на величину инструментальной погрешности (2...5%). Так как известные ранее формулы получены для модельной задачи с точечными источниками имеющими гауссовские диаграммы направленности, то они допускают различную интерпретацию к практическим устройствам, тем не менее для них отличие составляет 1.5...2 раза. Расчетное по формулам раздела 1.3 значение мощности принятого сигнала отличается от измеренного не более, чем на величину затухания зву-

ковых волн в воздухе (2...3дБ). Известные ранее формулы дают расхождение до 15...20дБ. На нижних участках трассы зондирования, где необходимо учитывать бистатичность системы, измерение амплитудно-частотных характеристик показало, что рассмотренные в разделе 1.4 дифракционные механизмы соответствуют реальным процессам, точные вычисления требуют значительных затрат машинного времени, поэтому для этого участка были экспериментально получены поправочные коэффициенты, которые позволили при измерениях на высотах 20...40м уменьшить неопределенность полученных значений температуры до 0.2...0.3°C, а погрешность измерения скорости ветра - до ее значений в верхних точках. Далее приводятся методика и результаты сравнительных измерений скорости ветра по способу описанному в разделе 1.5. Для сравнения использовался стандартный анеморумбомер типа М-65МР-1, который размещался на мачте высотой 48м на расстоянии 40м от системы РАЗ. Измерения проводились в диапазоне ветров от 3 до 9м/с. Коэффициент корреляции между данными анеморумбомера и системы РАЗ составил 0.94. В разделе 3.4 показаны сеансы восстановления высотных профилей показателя преломления. Использование факсимильной записи сигналов акустического лоатора позволило выявить наиболее характерные метеоситуации вблизи границы суша-море, а также наиболее точно выбирать моменты для проведения более трудоемких измерений с помощью РАЗ и наземного комплекса. Представлены сеансы восстановления в периоды квазистационарных состояний АПС возникающих при направлениях ветра с моря на сушу и с суши на море включая моменты их образования и разрушения, а также в период изменения термодинамического состояния АПС при разрушении ночной инверсии. В разделе 3.5 Рассматривается эффект образования локальных неоднородностей (ЛН) в слое лежащем выше приземной инверсии, которые были обнаружены с помощью акустического лоатора. Систематический анализ метеоданных полученных с помощью РАЗ позволил выдвинуть рабочую гипотезу механизма возникновения ЛН основанную на действии архимедовых в неоднородной среде. На основании выдвинутых предположений дана оценка изменению  $n$  в ЛН. Непосредственно над инверсионным слоем она доходит до 6...10  $n$ -ед.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

I. Уточнена радиофизическая модель искусственного отражателя, образованного неоднородностями плотности воздуха, создаваемыми движущимся пакетом акустических волн. Уточнено влияние

термофизических характеристик воздуха на изменение  $n$  и получены точные соотношения для последующего расчета пространственного распределения сигнала при решении дифракционной задачи при РАЗ.

2. Решена прямая радиофизическая задача рассеяния электромагнитных волн на акустическом пакете при РАЗ. Полученное решение отличается от известного ранее и предоставляет следующие возможности:

а) рассчитать пространственное распределение мощности принимаемого сигнала при любых функциях возбуждения излучающих и приемной апертур;

б) выяснить особенности дифракции электромагнитных волн на нижнем участке зондирования и разработать практические рекомендации позволяющие уменьшить неопределенность при измерении метеовеличин на высотах 20...40м;

в) оценить влияние поляризационных эффектов при РАЗ;

г) составить представление о пространственном положении эквивалентных поверхностей принимаемого сигнала.

Точное описание дифракционных процессов при РАЗ позволяет корректно решать обратные задачи вычисления метеопараметров по измеренным характеристикам принимаемого сигнала.

3. Решена обратная радиофизическая задача определения тангенциальной скорости движения среды, на основании которой предложен и подтвержден авторским свидетельством радиоакустический способ измерения скорости ветра. Предложенный способ реализован на действующей системе РАЗ и прошел сравнительные измерения. Получаемая этим способом информация о флуктуационных характеристиках ветровых потоков позволяет вычислять коэффициент турбулентной диффузии, что дает возможность создать методику восстановления высотных профилей показателя преломления.

4. Создана и опробована методика восстановления высотных профилей показателя преломления атмосферы основанная на модели турбулентной диффузии. Сделана оценка эффективности применения этой методики над неоднородной подстилающей поверхностью. Выработаны требования к техническим характеристикам дистанционных средств измерений и рекомендации для применения полученных с их помощью метеоданных в модели переноса веществ и свойств в АПС. Проведены сеансы восстановления вблизи границы суша-море и построены пространственно-временные поля  $n$  для ряда характерных термодинамических состояний АПС в этом районе.

5. Обнаружен эффект образования локальных неоднородностей обладающих повышенным коэффициентом отражения для звуковых волн. На основании систематических наблюдений и анализа метеоданных

полученных с помощью РАЗ, предложена рабочая гипотеза возникновения локальных неоднородностей и дана оценка флуктуациям показателя преломления для радиоволн в них.

Личное участие. Автором проведено уточнение модели искусственного отражателя, решена дифракционная задача при РАЗ и проведен анализ полученного решения, разработан радиоакустический способ измерения скорости ветра и методика восстановления высотных профилей показателя преломления по данным РАЗ, проведен анализ ее эффективности, предложена и разработана рабочая гипотеза возникновения локальных неоднородностей, а также программное обеспечение представленных методик и экспериментов и описанная в работе модернизация аппаратуры зондирования.

Основные результаты диссертации изложены в работах /I - 22/ и докладывались на IX и X Всесоюзных симпозиумах по лазерному и акустическому зондированию атмосферы (Туапсе 1986, Томск 1988), Всесоюзной конференции по статистическим методам обработки данных дистанционного зондирования окружающей среды (Рига 1986), Всесоюзной конференции по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы (Обнинск 1987), Всесоюзной конференции "Использование вычислительной техники для решения проблем охраны окружающей среды в теплоэнергетике" (Севастополь 1988), XVI Всесоюзной конференции по распространению радиоволн (Харьков 1990), III Всесоюзной конференции по авиационной метеорологии (Суздаль 1990), на семинаре "Исследование пограничного слоя атмосферы над сушей и океаном акустическими методами" Научного совета АН СССР по проблеме "Акустика" (Москва 1990) и на II Научной конференции "Применение дистанционных радиофизических методов в исследовании природной среды" (Муром 1992).

#### СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Бабкин С.И., Максимова Н.Г., Панченко А.Ю., Прошкин Е.Г., Ульянов Ю.Н. Измерение влажности воздуха радиоакустическим зондированием атмосферы // Труды IX Всесоюзного симпозиума по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. - Томск, 1986. - Ч.2. - С.145-149.

2. Бабкин С.И., Панченко А.Ю., Ульянов Ю.Н. К вопросу о погрешности дистанционного измерения влажности воздуха на основе молекулярного поглощения звука. // Труды IX Всесоюзного симпозиума по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. - Томск, 1986. - Ч.2. - С.149-162.

3. Бабкин С.И., Панченко А.Ю., Прошкин Е.Г., Ульянов Ю.Н.

Измерение вектора скорости горизонтального ветра вертикальным радиоакустическим зондированием // Труды IX Всесоюзного симпозиума по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. - Томск, 1986. - Ч.2. - С.153-157.

4. Бабкин С.И., Куценко В.И., Максимова Н.Г., Панченко А.Ю. Прошкин Е.Г., Ульянов Ю.Н., Яворский А.Ю. Радиоакустическое температурное зондирование атмосферы на границе суша-море // Труды IX Всесоюзного симпозиума по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. - Томск, 1986. - Ч.2. - С.158-162.

5. Бабкин С.И., Куценко В.И., Максимова Н.Г., Панченко А.Ю. Прошкин Е.Г., Ульянов Ю.Н. Статистическая обработка данных температурного радиоакустического зондирования атмосферы // Тез. докл. Всесоюзной конференции по статистическим методам обработки данных дистанционного зондирования окружающей среды. - Рига, 1986. - С.119.

6. Панченко А.Ю. Особенности измерения температуры атмосферы бистатистическими системами радиоакустического зондирования / Харьк. ин-т радиоэлектрон. - Харьков, 1987. - 39 с.: ил. - Деп. в УкрНИИТИ 27.04.87, № 1350-Ук87.

7. Бабкин С.И., Куценко В.И., Максимова Н.Г., Матиос В.М., Панченко А.Ю., Прошкин Е.Г., Ульянов Ю.Н., Яворский А.Ю. Опыт применения дистанционных средств зондирования атмосферы в приморских туманах // Тез. докл. Всесоюзной конференции по активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. - Обнинск, 1987. - С.112-113.

8. А.с. 1468218 (СССР) Радиоакустический способ определения сдвига ветра / Ульянов Ю.Н., Панченко А.Ю., Максимова Н.Г., Прошкин Е.Г. - Зарегистрировано 15.11.88.

9. Панченко А.Ю. Восстановление высотных профилей показателя преломления радиоволн в пограничном слое атмосферы по данным радио- и акустического зондирования / Харьк. ин-т радиоэлектрон. - Харьков, 1988. - 55 с.: ил. - Деп. в УкрНИИТИ 21.06.88, № 1575-Ук88.

10. А.с. 1545781 (СССР). Радиоакустический способ определения модуля скорости ветра / Панченко А.Ю. - Зарегистрировано 22.10.89.

11. Панченко А.Ю. Измерение характеристик ветровых потоков вертикальным радиоакустическим зондированием / Тр. X Всесоюз. симп. по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. - Томск, 1989. - Ч.2. - С.127-131.

12. Панченко А.Ю. Амплитудно-фазовое распределение принимаемого сигнала при радиоакустическом зондировании / Харьк. ин-т

радиоэлектрон.- Харьков, 1990.-8 с.: ил.- Деп. в УкрНИИТИ  
27.08.90, № 1453-Укр90.

13. Панченко А.Ю., Ульянов Ю.Н. Измерение характеристик вектора ветра комплексным акустическим и радиоакустическим зондированием // Тр. III Всесоюз. конф. по авиационной метеорологии.- М.: Гидрометеиздат, 1990.- С.177.

14. Панченко А.Ю., Ульянов Ю.Н. Идентификация верхней границы туманов в зоне аэропорта по результатам комплексного вертикального радиоакустического и акустического зондирования // Тр. III Всесоюз. конф. по авиационной метеорологии.- М.: Гидрометеиздат, 1990.- С.91.

15. Максимова Н.Г., Панченко А.Ю., Ульянов Ю.Н. Использование комплексного радиоакустического и акустического зондирования для оперативного определения структуры атмосферной турбулентности для нужд авиации // Тр. III Всесоюз. конф. по авиационной метеорологии.- М.: Гидрометеиздат, 1990.- С.49.

16. Андрианов В.А., Панченко А.Ю. Восстановление высотных профилей коэффициента преломления вблизи границы суша-море по акустическим и радиоакустическим измерениям // Тр. XVI Всесоюз. конф. по распространению радиоволн.- Харьков, 1990.- Ч.2.- С.305.

17. Андрианов В.А., Панченко А.Ю. Восстановление высотных профилей показателя преломления пограничного слоя атмосферы по акустическим и радиоакустическим дистанционным измерениям // Радиотехника и электроника.- 1990, т.35.- № 12.- С.2518-2526.

18. Андрианов В.А., Панченко А.Ю. Восстановление высотных профилей метеопараметров по результатам акустического и радиоакустического зондирования // Материалы семинара "Исследование пограничного слоя атмосферы над сушей и океаном акустическими методами".- М.: Препр. № 7 ИФА АН СССР.- Ч.1.- С.34-38.

19. Ульянов Ю.Н., Панченко А.Ю., Максимова Н.Г., Прошкин Е.Г., Ветров В.И. Комплекс вертикального акустического и радиоакустического зондирования атмосферы в условиях прибрежного метеополгона // Материалы семинара "Исследование пограничного слоя атмосферы над сушей и океаном акустическими методами".- М.: Препр. № 7 ИФА АН СССР.- Ч.1.- С.39-46.

20. Ульянов Ю.Н., Панченко А.Ю., Максимова Н.Г., Прошкин Е.Г., Ветров В.И. Результаты совмещенного вертикального акустического и радиоакустического зондирования атмосферы на границе суша-море // Материалы семинара "Исследование пограничного слоя атмосферы над сушей и океаном акустическими методами".- М.: Препр. № 7 ИФА АН СССР.- Ч.1.- С.47-54.

АВ 27.791

21. Ульянов Ю.Н., Панченко А.В., Прошкин Е.Г., Максимова Н.Г. Исследование распространения радиоволн в прибрежном слое атмосферы методом радиоакустического зондирования в прибрежной зоне // М.: Препр. № 7 (575) ИРЭ РАН, -1992.-21 с.

22. Андрианов В.А., Панченко А.Ю. Современные методы дистанционного зондирования пограничного слоя атмосферы для прогнозирования распространения радиоволн // II научная конференция "Применение дистанционных радиофизических методов в исследованиях природной среды". - Муром 1992. - С.72-75.

Подп. к печ. 24.06.93 Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Бумага тип. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10  
Уч.-изд. л. 10 Тираж 80 экз. Зак. № 2041. Бесплатно.

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.  
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.