

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, ОСНОВАННЫХ НА ЯВЛЕНИИ АКУСТИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ

### Введение

Методы дистанционного измерения метеовеличин являются технологией более высокого уровня, чем прямые методы, так как при применении дистанционных методов устраняются многие недостатки прямых (заметное возмущение естественных полей метеовеличин используемыми носителями метеодатчиков, жесткая привязка большинства метеодатчиков к месту дислокации, различие в погрешностях метеодатчиков различных высотных уровней и пр.). Реализуются дистанционные методы с помощью наземной радиоэлектронной аппаратуры, потенциально позволяющей производить накопление метеоинформации без участия человека и в любых погодных условиях. Сравнение достижений дистанционных методов (в том числе радиометрического и лазерного) с точки зрения возможности контроля и исследований пограничного слоя атмосферы, находящегося между неподвижной подстилающей поверхностью и свободной атмосферой, показывает, что перспективными для такого применения могут стать методы, использующие акустические волны в качестве своеобразных “зондов”. Такими методами стали акустическое зондирование (АЗ) и радиоакустическое зондирование (РАЗ). Наиболее эффективным применением АЗ в практике метеонаблюдений явилась регистрация температурных инверсий на разных стадиях их существования [1]. Методические вопросы регистрации вертикальных профилей температуры воздуха и, отчасти, скорости и направления ветра теоретически и экспериментально больше проработаны для РАЗ [2]. Изучение возможности дистанционного измерения влажности атмосферного воздуха на базе использования акустических волн к настоящему времени находятся на стадии теоретических и, в меньшей степени, экспериментальных исследований. Данная работа посвящена анализу методов дистанционного измерения влажности воздуха, использующих акустическую релаксацию во влажном атмосферном воздухе, оценке влияния атмосферных явлений и аппаратуры на погрешность таких измерений, поиску путей снижения погрешностей.

### Эффекты акустической релаксации

Под акустической релаксацией, согласно [3], понимают внутренние процессы восстановления термодинамического равновесия среды, нарушаемого сжатиями и разрежениями в звуковой волне. В соответствии с термодинамическим принципом равномерного распределения энергии по степеням свободы, энергия поступательного движения в звуковой волне переходит на внутренние степени свободы, возбуждая их, в результате чего уменьшается энергия, приходящаяся на поступательное движение. Поэтому релаксация всегда сопровождается двумя эффектами: дисперсией скорости звука и поглощением звука. Влияние релаксационных процессов на звуковую волну зависит от соотношения между ее периодом и временем релаксации – временем перераспределения энергии между поступательными и внутренними степенями свободы. Если период звуковой волны  $T$  значительно меньше времени релаксации  $\tau$ , то среда будет вести себя так, как будто внутренние степени свободы отсутствуют. В противном же случае часть энергии поступательного движения успевает перераспределиться на внутренние степени свободы. При этом вследствие уменьшения энергии поступательного движения упругость среды и скорость звука будут меньше, чем в случае низких частот, т.е. при релаксации скорость звука увеличивается с ростом частоты. Наиболее быстрый рост скорости происходит на частоте релаксации  $\omega = 1/\tau$  и вблизи нее (в т.н. дисперсионной области). В газах время релаксации зависит от температуры и давления, а также от наличия примесей других газов. Для атмосферного воздуха такой примесью является водяной пар. Часть коэффициента поглоще-

ния звука (коэффициент молекулярного поглощения), которая пропорциональна объемной вязкости, связана с релаксационными процессами. Частотная зависимость коэффициента релаксационного поглощения на длину волны имеет характерный максимум на частоте релаксации. Молекулярное поглощение звука в воздухе существенно зависит от количества водяных паров и частоты звука. Оба рассмотренных эффекта используются при создании дистанционных методов измерения влажности атмосферного воздуха.

### **Методы, использующие эффект поглощения звука в атмосфере**

При акустическом зондировании метод измерения влажности атмосферного воздуха включает [1] прием рассеянных температурными неоднородностями атмосферы акустических сигналов на двух-трех (трех – для устранения неоднозначности отсчета коэффициента поглощения) частотах, расчет коэффициентов поглощения по отношению измеренных мощностей сигналов и определение относительной влажности воздуха для конкретных условий зондирования (температуры воздуха и атмосферного давления). Теоретически рассчитанная погрешность измерения относительной влажности таким методом менее 10 % только при влажности ниже 40 % [1], что в природных условиях встречается достаточно редко. Экспериментальные результаты по измерению давления водяного пара многочастотным акустическим зондированием были еще менее оптимистическими [1].

Амплитудные методы измерения влажности воздуха радиоакустическим зондированием атмосферы аналогичны методу акустического зондирования с тем различием, что для получения метеоинформации при РАЗ используются значения мощностей принятых радиосигналов. Одночастотный амплитудный метод измерения влажности радиоакустическим зондированием основан на том, что амплитуда радиолокационного эхо-сигнала, отраженного от неоднородностей показателя преломления, искусственно созданных акустическим излучением, зависит от интенсивности этого излучения на данном участке трассы, которое в свою очередь зависит известным образом от влажности и температуры воздуха. Таким образом, при известной температуре воздуха интенсивность радиолокационного сигнала оказывается зависящей от влажности на данном участке трассы [4]. Для определения влажности данным методом регистрируют огибающую отраженного сигнала, измеряют значение мощности эхо-сигнала путем сравнения его амплитуды со значением калибровочного сигнала в каждой точке диапазона дальности, вычисляют производную от огибающей эхо-сигнала в каждой точке диапазона дальности, вычисляют коэффициент ослабления звука в каждой точке диапазона дальности, определяют профиль влажности по совокупности значений коэффициентов ослабления звука, температуры воздуха и известного соотношения между коэффициентом молекулярного ослабления звука с длиной волны  $\lambda$  и влажностью. Рассматриваемый метод определения влажности достаточно прост с точки зрения аппаратной реализации, но на эффективность измерения влажности в этом случае сильное влияние оказывают такие факторы как скорость ветра и турбулентное рассеяние звука. В работе [5] показано, что на формирование заднего фронта импульса отраженных сигналов, используемого для расчета влажности данным методом, скорость ветра оказывает более сильное влияние, чем молекулярное поглощение (из-за выноса пакета акустических волн из диаграмм направленности антенн радиоканала). С этой целью в 20-сантиметровой системе РАЗ [2] применили распределенный акустический излучатель: акустическая антенна этой системы, состоящая из четырех модулей 4×4 громкоговорителей, был преобразован в линейку модулей, размещенных на расстоянии 0,5 м друг от друга, а при зондировании к модулям подводилась одинаковая мощность. В результате в эксперименте наблюдали группу из четырех отраженных импульсов со спадающей амплитудой, что позволяет предположить, что главную роль в уменьшении амплитуды отраженного сигнала при вертикальном РАЗ играет горизонтальный перенос акустического пакета, а не нарушение условия Брэгга вследствие существования вертикального градиента температуры воздуха и наличие молекулярного поглощения звука. К тому

же, значение коэффициента турбулентного ослабления звука  $\alpha_T$  в условиях развитой турбулентности сравнимо со значением коэффициента молекулярного поглощения [1]. В целом же, эти атмосферные явления должны приводить к существенной погрешности измерения влажности воздуха указанным методом. Видимо, поэтому и нет публикаций, в которых приводились бы результаты экспериментальной проверки одночастотного амплитудного метода РАЗ для измерения этой метеовеличины.

Развитием амплитудных методов измерения влажности воздуха явился двухчастотный метод [2], при реализации которого предполагалось, что используемое для расчета влажности на трассе зондирования отношение амплитуд отраженных радиосигналов, измеренных одновременно при РАЗ атмосферы на двух разных (например, кратных) частотах, будет зависеть лишь от разности коэффициентов поглощения звука на этих частотах, а влияние скорости ветра и турбулентности на это отношение будет исключено. Поэтому в эксперименте ожидали появление двух огибающих амплитуд отраженных сигналов, задние фронты которых имели бы вид экспонент с различными показателями. Созданной для проверки возможностей данного метода аппаратурой РАЗ [2] амплитудные измерения производились череспериодно (через 1 секунду): вначале на низкой (3,4 кГц), а затем на высокой (6,8 кГц) частоте. В условиях неподвижной и бестурбулентной атмосферы две последовательно зарегистрированные, а затем совмещенные во времени, огибающие амплитуд действительно оказывались подобными по форме, но с различными показателями экспонент. Однако по мере возникновения и развития турбулентности степень корреляции огибающих заметно снижалась, а результаты расчета влажности становились некорректными. Для выяснения механизма влияния турбулентности атмосферы на эффективность амплитудного двухчастотного РАЗ для измерения влажности были проведены теоретические исследования, в ходе которых установлено [6], что неучет поперечного масштаба когерентности фазового фронта используемых звуковых волн и частотной зависимости коэффициента турбулентного рассеяния звука может обуславливать возникновение погрешности измерения влажности таким методом до (20 – 40)% относительной влажности (для пары звуковых зондирующих частот 0,05 и 0,1 м). Снизить погрешность измерений влажности можно путем коррекции полученных при зондировании данных амплитудных измерений на основе расчета коэффициента турбулентного рассеяния звука и радиуса поперечного масштаба когерентности по данным о значениях структурных постоянных пульсаций температуры и скорости ветра, полученных акустическим зондированием в тех же метеоусловиях. Допустимость череспериодного зондирования при измерении влажности этим методом была проверена с помощью упомянутой аппаратуры. В ходе эксперимента в атмосферу излучался акустический импульс с искаженным синусоидальным заполнением частотой 3,4 кГц. При этом предполагалось, что при искажении в объеме атмосферы, занимаемом акустическим пакетом, возникает ряд гармоник излученной частоты. Поддерживая условие Брэгга для первой и второй гармоник акустических колебаний в атмосфере, регистрировали одновременно обе огибающие амплитуд сигналов, отраженных от акустических пакетов. Основным результатом эксперимента заключается в следующем: местоположение максимумов на оси высот (при постоянной излучаемой частоте) весьма изменчиво; оба максимума амплитуды отраженных сигналов чаще всего не совпадают ни по высоте, ни по значению (эксперимент проводился в условиях умеренного ветра порывистого ветра - скорость 5-7 м/с). Такие данные позволяют сделать следующий вывод: если в какой-то момент времени максимумы огибающих амплитуд сигналов, синхронно зарегистрированных на двух частотах, не совпадают по высоте, то это может означать, что температурные неоднородности двух масштабов (10 и 20 см, соответствующие зондирующим звуковым частотам и формирующим два отраженных сигнала), и скорости их перемещения неодинаково распределены в объеме атмосферы, занимаемом акустическим пакетом в данный момент времени. Следовательно, даже синхронное двухчастотное РАЗ не обеспечивает одинакового влияния турбулентности на амплитуды отраженных сигналов. Свой вклад в формирование погрешности измерения влажности воздуха амплитудным двух-

частотным РАЗ атмосферы, как уже отмечалось выше, дает ветер. Следует иметь в виду, что при изменении температуры и влажности воздуха, но при фиксированных значениях технических параметров зондирующей аппаратуры, разность коэффициентов поглощения на этих частотах будет отсчитываться на скатах различной крутизны кривой релаксационного поглощения, что приводит к появлению методической погрешности, оцененной в работе [7]. Дополнительную неопределенность в результаты зондирования вносит выбранная методика зондирования, а именно, длительность зондирующих импульсов на двух частотах: равная длительность  $\tau$  импульсов или равное количество периодов звуковой волны в импульсах. В первом случае амплитуду отраженного сигнала на обеих частотах будет формировать одинаковый объем атмосферы, но из-за разного количества длин волн в пакетах ширина функции взаимодействия [2] на двух частотах будет разная, что приводит к разной скорости спада амплитуды (не зависящей от молекулярного поглощения звука). В другом – ширина функции взаимодействия на обеих частотах равная, но толщина слоя атмосферы, участвующая в формировании отраженных сигналов на двух частотах, будет разная, в результате чего проявится влияние вертикального градиента температуры воздуха (через расстройку условия Брэгга [2]). В эксперименте наилучшие результаты измерения влажности рассматриваемым методом получены в условиях устойчиво стратифицированной атмосферы – (12 - 15)% относительной влажности; в других условиях эта погрешность была значительно выше. Теоретическая оценка необходимой точности определения отношения мощностей отраженных радиосигналов для измерений в бестурбулентной атмосфере показала, что отношение мощностей должно измеряться с точностью, меньшей 0,4 дБ [2], в то время как используемая в экспериментах аппаратура обеспечивала лишь 0,8 дБ и более. В целом же, отметим, что для практического использования амплитудного двухчастотного РАЗ для измерения влажности необходимы дальнейшие его исследования, а поэтому к данным восстановления вертикального профиля показателя преломления, полученным с использованием результатов измерения влажности воздуха таким методом без учета влияния турбулентности [2, 8], следует подходить с некоторой осторожностью.

Ряд недостатков, присущих двухчастотному амплитудному методу измерения влажности, в том числе и небольшая высота регистрации вертикальных профилей (определяемая максимальной высотой зондирования на высокой – из пары используемых – частоте), может быть преодолен с помощью модифицированного одночастотного амплитудного метода [9]. Для повышения точности определения влажности воздуха при зондировании в условиях турбулентности и наличия ветра в атмосфере одновременно с основным излучают дополнительный акустический импульс, принимают отраженный от него электромагнитный сигнал и измеряют его мощность, отдельно принимают отраженные от температурных и ветровых неоднородностей акустические сигналы, измеряют их мощности и доплеровский сдвиг частоты акустического сигнала, отраженного от температурных неоднородностей, и, с учетом реальных турбулентного ослабления энергии звуковых волн и радиуса поперечной когерентности фазового фронта звуковых волн, вычисляют коэффициент молекулярного поглощения звука, который используют при определении влажности воздуха. На рис. 1 приведена схема зондирования и структурная схема аппаратуры для реализации модифицированного одночастотного амплитудного метода зондирования, где: 1 – доплеровский радиолокатор с передающей антенной 2 и приемной антенной 3, доплеровский содар 4 с антенным переключателем 5, приемно-передающей 6, передающей 7 и приемной 8 антеннами, 9 – блок формирования импульсов, 10 – блок измерения параметров радиосигнала, 11 – блок измерения акустических сигналов, 12 – персональный компьютер, 13 – периферийное регистрирующее устройство,  $\Pi_1$  (основной) и  $\Pi_2$  (дополнительный) – акустические пакеты.

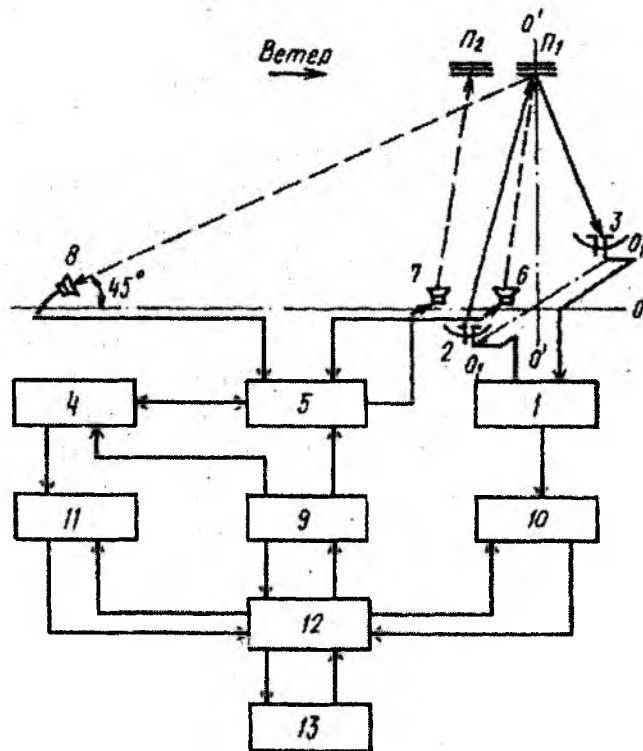


Рис. 1

### Двухчастотные фазовые методы измерения влажности

В основу фазового метода измерения влажности воздуха двухчастотным радиоакустическим зондированием положена связь частоты релаксации для атмосферного воздуха с его влажностью и скорости распространения звука произвольной частоты в атмосфере с релаксационными процессами в ней [10]. Максимальная разность скоростей звука двух различных, достаточно разнесенных по диапазону, частот составляет лишь  $\Delta C = 0,12 \text{ м/с}$  [3], а разность в частотах доплеровского сдвига отраженных радиосигналов при двухчастотном РАЗ лежит в пределах 1–2 Гц. Если весь диапазон изменений влажности воздуха (например, для умеренных широт) лежит в пределах 30–90 % относительной влажности, то при разрешающей способности измерения влажности около 6 % (для штатных метеодатчиков широкого применения – гигрометров – это значение составляет 5–7% относительной влажности) необходимо обеспечить 10 отсчетов влажности, т.е. разрешающая способность измерения частоты должна быть примерно равной 0,1–0,2 Гц. Такие различия в скоростях звука при существовании дисперсии можно зафиксировать путем измерения сдвига фаз между частотами доплеровского сдвига частот принимаемых радиосигналов методами, изложенными в работе [11]. Оценка влияния турбулентности атмосферы на измеряемый сдвиг фаз  $\Delta\varphi$  и вносимую турбулентностью погрешность измерения парциального давления водяного пара  $e$  проведена на основе анализа зависимости  $\langle e \rangle / e_0$ , где  $e_0$  – давление парциального пара в нетурбулентной атмосфере, а

$$e = P \exp \left\{ 0,385 \ln \left[ \frac{\pi f r (C_\infty^2 - C_0^2) (f_2^2 - f_1^2)}{C^3 \Delta\varphi} \right] - 7,947 \right\}, \quad (1)$$

где  $P$  – полное давление воздуха;  $f$  – частота, на которой измеряется сдвиг фаз;  $r$  – высота зондирования;  $C_0$  и  $C_\infty$  – скорости звука на очень малых и очень высоких частотах соответственно;  $C$  – средняя скорость звука в слое;  $f_1$  и  $f_2$  – зондирующие звуковые частоты, от частоты и высоты зондирования при малых флуктуациях сдвига фаз акустических волн и скоро-

ти звука. Оценка  $\langle \Delta\varphi^{12} \rangle$  производилась методом геометрической оптики при условии статистической однородности и изотропности поля случайных фаз акустической волны. В конвективных условиях погрешность измерения влажности, вносимая не только слабой, но и сильной турбулентностью, значительно ниже, чем при определении влажности двухчастотным амплитудным методом (меньше 1 %) [12]. В отличие от расчетного выражения, приведенного в [10] и полученного при некоторых упрощениях задачи (значения пары зондирующих звуковых частот значительно меньше частоты релаксации, скорости распространения звуковых частот различаются не сильно и т.д.) в работе [13] сняты все ограничения в постановке задачи, оценены значения возможных сдвигов фазы, всесторонне изучено влияние атмосферной турбулентности на двухчастотное фазовое зондирование, исследованы источники погрешностей. В дальнейшем получены практически применимые соотношения, позволяющие дополнить дистанционные измерения высотного хода влажности фазовым методом градиентными измерениями метеовеличин (температуры и влажности), что позволяет повысить точность измерения влажности [14]. При инструментальной погрешности измерения сдвига фаз  $\delta(\Delta\varphi) = 1^\circ$  общая инструментальная погрешность измерения относительной влажности воздуха этим методом оценивается значением (3–5)%. Для экспериментальной оценки возможности использования двухчастотного фазового метода для дистанционного измерения влажности воздуха была использована комплексированная радиоэлектронная система контроля атмосферных величин [15], в состав которой входит одночастотная система РАЗ (рабочая частота – 440 МГц) и двухчастотный содар (рабочие частоты 1 и 4 кГц). Исследования проводились в различные сезоны года, чаще в погодных условиях, благоприятных для акустического зондирования. Полученные в ходе экспериментов данные подвергались статистической обработке, в ходе которой рассчитывались средние значения сдвигов фаз и их среднеквадратические отклонения, разности сдвигов фаз на соседних высотных уровнях, строились гистограммы распределений и т.д. Обработка данных показала, что средние значения фазовых сдвигов имеют устойчивый характер с дисперсией, зависящей от погодных условий. Распределение сдвигов фаз приближается к нормальному закону. Зарегистрированные средние значения фазовых сдвигов качественно согласуются с расчетными данными, приведенными в работе [15]. Например, в результате статистической обработки измерений сдвигов фаз при зондировании в мае 1995 г. (данные приземных метеорологических измерений следующие: температура воздуха + 20°C, относительная влажность – 60 %, атмосферное давление – 102 гПа) получены разности фаз между соседними высотными слоями, находящимися на расстоянии 17 м, близкие к значению  $\Delta\varphi = 1,52^\circ$ . При этом значение сдвига фаз, приходящееся на 1 м,  $\Delta\varphi / \Delta R = 1,52 / 34 \approx 4,5 \cdot 10^{-2}$  град/м при его теоретическом значении  $\Delta\varphi / \Delta R = 1,02 \cdot 10^{-2}$  град/м. Такие результаты экспериментов позволили предложить иной фазовый метод дистанционного измерения влажности воздуха, чем двухчастотное РАЗ. Этот метод предполагает двухчастотное АЗ для проведения фазовых измерений и одночастотное РАЗ – для частотных измерений (для определения высоты измерения влажности и температуры воздуха на этой высоте) [15], а устройство, реализующее этот метод, может быть построено на основе работы [16]. Обладая всеми преимуществами двухчастотного фазового метода измерения влажности радиоакустическим зондированием, двухчастотный фазовый метод измерения влажности совмещенной аппаратурой АЗ и РАЗ позволит повысить точность определения влажности за счет замены фазовых измерений в радиоканалах фазовыми измерениями в звуковых каналах.

### **Заключение**

Анализ известных методов дистанционного измерения влажности атмосферного воздуха, использующих явление акустической релаксации, позволяет сделать следующие выводы.

Наиболее исследованным (и теоретически и практически) является двухчастотный амплитудный метод измерения влажности радиоакустическим зондированием атмосферы. Он же стал отправным для разработки других, более эффективных, методов.

Все рассмотренные методы, использующие акустическую релаксацию, для повышения точности требуют привлечения априорной информации, которую можно получить комплексированием АЗ и РАЗ.

Весьма перспективным методом дистанционного измерения влажности с точки зрения простоты аппаратной реализации, высоты и приемлемой погрешности измерения представляется одночастотное РАЗ с использованием информации об интенсивности турбулентности и о значениях параметров ветра в слое зондирования.

**Список литературы:** 1. *Красненко Н.П.* Акустическое зондирование атмосферы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 166 с. 2. *Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли* / Под ред. Кашеева Б.Л., Прошкина Е.Г., Лагутина М.Ф. Разд. 2. Радиоакустическое зондирование атмосферы. Харьков: Коллегиум, 2002. 426 с. 3. *Ультразвук.* Маленькая энциклопедия / Гл. ред. Голямина И.П. М.: Сов. энциклопедия. 1979. 400 с. 4. *А.С.№ 671535, СССР МКИ G 01 W 1/11.* Способ радиоакустического зондирования атмосферы / М.Ю.Орлов, Б.С.Юрчак (СССР). №2527314/18-10; заяв. 23.09.77; опубл.23.11.84. Бюл.№ 43. 2с. 5. *Прошкин Е.Г., Карташов В.М., Бабкин С.И., Волох А.В.* Современное состояние, проблемы и перспективы систем радиоакустического зондирования // Радиотехника. 2007. Вып.№ 150. С.5-16. 6. *Бабкин С.И., Груша Г.В.* Влияние атмосферной турбулентности на точность определения влажности воздуха амплитудным радиоакустическим зондированием // Оптика атмосферы. 1990. Т.3, № 10. С.1064-1069. 7. *Бабкин С.И., Панченко А.Ю., Ульянов Ю.Н.* К вопросу о погрешности дистанционного измерения влажности воздуха на основе молекулярного поглощения звука // Труды 9 Всесоюз. симп. по лазерн. и акустич. зондир. атм. Ч.2. Томск: ИОА СО АН СССР, 1986. С. 145-148. 8. *Андреанов 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. 9. *А.С. № 1780071, СССР МКИ G 01 S 13/95.* Способ определения влажности воздуха радиоакустическим зондированием / *С.И.Бабкин* (СССР). Опубл. 24.04.92. Бюл. № 45. 4 с. 10. *А.С. № 1670641, СССР МКИ G 01 S 13/95.* Радиоакустический способ определения влажности воздуха / *С.И.Бабкин, Е.А.Васильченко* (СССР). Опубл. 15.08.91. Бюл. № 30. 4 с. 11. *Орнатский П.П.* Автоматические приборы и измерения (аналоговые и цифровые). Киев: Выща школа.1980. 558 с. 12. *Бабкин С.И., Васильченко Е.А., Груша Г.В.* Двухчастотное радиоакустическое зондирование атмосферы для измерения влажности по сдвигу фаз // Тез. докл. XVI Всесоюз. конференции по распространению радиоволн. Ч.2. Харьков: ХПИ. 1990. С.312. 13. *Vabkin S.I., Delov I.A., Proshkin E.G., Grusha G.V.* Measuring the Atmospheric Humidity by the Phase-Shift Depended Acoustic Sounding: Methods and Applicability Estimation. Изд."Begell House, Inc." №4, USA, "Telecommunications and Radio Engineering", v.55, №12. 2001. Pp 17-26. 14. *Бабкин С.И., Груша Г.В., Прошкин Е.Г., Слипченко Н.И.* Некоторые исследования фазовой поверхности акустических волн для задач радиометеорологии // Радиотехника. 2001. Вып. 119. С.215-220. 15. *Бабкин С.И., Груша Г.В., Делов И.А., Прошкин Е.Г.* Комплексированная радиоэлектронная система контроля атмосферных величин // Прикладная радиоэлектроника. 2004. Т.3, №2.С. 7-15. 16. *Патент № 86555.* МПК G 01 S 13/95. Пристрій для дистанційного визначення вологості атмосферного повітря. Бабкін С.І., Карташов В.М., Пашенко С.В., Яценко П.О. (Україна). Опубл. 27.04.2009. Бюл. № 8.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники*

*Поступила в редколлегию 11.01.2010*