

К ВОПРОСУ О МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ

Введение

Вторая половина XX века характеризуется широким внедрением в практику метеонаблюдений электронных и радиоэлектронных средств. Обычным стало применение радиолокаторов для измерения скорости ветра в высоких слоях атмосферы, обнаружения грозových очагов, оценки интенсивности выпадения осадков, слежения за торнадо и т.д.

Развитие радиоэлектронных средств дистанционного зондирования атмосферы получило дополнительный импульс в связи с выполненными в 30 – 60-х годах прошлого столетия исследованиями по распространению звуковых волн в атмосфере [1 – 5]. На базе этих исследований возникли новые методы дистанционного мониторинга атмосферы – акустическое зондирование (АЗ) и радиоакустическое зондирование (РАЗ) [6 – 9]. С использованием методов АЗ и РАЗ были созданы способы и технические средства количественного измерения основных метеорологических величин – температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра. Однако широкого внедрения в практику метеорологических наблюдений и исследований по физике атмосферы эти методы и средства пока не нашли. На взгляд автора, занимающегося более 40 лет исследованиями возможностей средств дистанционного зондирования, использующих акустические и электромагнитные волны, причин тому несколько. Прежде всего, это определенный консерватизм и недоверие метеорологов-практиков, не имеющих соответствующих методик обработки данных метеоинформации, поступающей от радиоэлектронных средств зондирования в огромных количествах и с высоким темпом. Объясняется это отсутствием методологии использования такой информации и у ученых-метеорологов. Другой причиной может быть недостаточное финансирование метеорологических служб (практически во всех странах, имеющих такие службы) для организации производства или закупки дистанционных средств зондирования, являющихся достаточно сложными и дорогими. И, наконец, третье – поскольку в большинстве своем такие средства являются нестандартизованными средствами измерения, то для оценки достоверности получаемой метеорологической информации (например, на предмет пригодности ее для использования в синоптических расчетах), необходимо иметь методики метрологической аттестации для каждого вида измерительных устройств. Отсутствие на сегодняшний день таких методик метрологической аттестации не позволяет корректно сравнивать между собой результаты измерений, выполненных разными экспериментаторами, ставит под сомнение трактовку и объяснение ими процессов, происходящих в атмосфере, не дает возможности единого подхода к проектированию средств зондирования того или иного класса.

Данная работа посвящена проблеме метрологической аттестации дистанционных средств зондирования атмосферы, использующих для зондирования электромагнитные и (или) акустические волны.

Подходы к созданию методик метрологической аттестации дистанционных средств зондирования атмосферы

Дистанционные методы базируются на регистрации тем или иным способом особенностей распространения электромагнитных и (или) акустических волн в атмосфере. Эффективность того или иного дистанционного метода зондирования атмосферы зависит от того, насколько точно регистрируется выделяемый эффект взаимодействия волны с атмосферой.

Дистанционное зондирование атмосферы может решать две задачи: индикацию качественного состояния атмосферы (томографию) и проведение количественных измерений в ней. В первом случае точностные характеристики дистанционного средства зондирования суще-

ственной роли не играют, в то время как для проведения количественных измерений метрологическая аттестация измерительного средства становится важнейшей задачей.

Опыт длительной эксплуатации экспериментальных систем РАЗ температурного и температурно-ветрового зондирования, требования, предъявляемые потребителями метеорологической информации, получаемой с помощью таких систем, показывают, что нормируемой метрологической характеристикой этих систем должна быть погрешность измерения метеовеличины. Погрешность определения высоты, на которой производятся измерения, зависит от точности воспроизведения временного интервала, в течение которого зондирующий пакет распространяется по трассе, и скорости пакета на ней. Скорость пакета априори неизвестна (ее значение по трассе часто принимается равным приземному значению), поэтому эта характеристика не может быть нормируемой. Что касается времени измерения метеовеличин средствами дистанционного зондирования, то это время должно укладываться в традиционные для метеорологии интервалы – 1 мин, 10 мин, 1 ч и т.д. (по крайней мере, на первых этапах внедрения таких средств в практику метеонаблюдений). Отметим, что эта техническая характеристика и ее погрешность для радиоэлектронных средств дистанционного зондирования атмосферы вовсе не являются проблемными.

Метрологическую аттестацию дистанционных средств, как и других средств измерений, возможно проводить несколькими путями: расчетным путем, путем экстраполяции структурной функции по данным практических измерений и путем сравнения (сличения) с эталоном. В первом случае за основу принимается рабочая формула расчета значения метеовеличины по принятому значению параметра отраженного сигнала. При этом по рабочей формуле определяются частные производные по всем элементам, находятся коэффициенты влияния, оцениваются погрешности определения (измерения) элементов и рассчитывается среднеквадратическая погрешность измерения. В случае метрологической аттестации путем сличения выбирается измерительный эталон, далее проводятся сравнительные измерения метеовеличины эталоном и дистанционным средством измерения, после чего рассчитываются среднеквадратические отклонения результатов сравнительных измерений. При проведении сравнительных измерений необходимо иметь в виду, что погрешность эталона должна быть как минимум в три раза ниже ожидаемой погрешности дистанционного средства зондирования, поскольку только в этом случае среднеквадратическое отклонение результатов измерений метеовеличины сравниваемыми средствами измерений может быть принято в качестве погрешности средства дистанционного измерения.

Проблема метрологической аттестации систем РАЗ

К настоящему времени известен ряд систем радиоакустического зондирования, позволяющих исследовать вертикальное распределение температуры воздуха вплоть до верхней границы стратосферы, измерять скорость и направление ветра в пограничном слое атмосферы, проводить измерение влажности воздуха в слаботурбулизованной атмосфере [10, 11]. При извлечении метеорологической информации из данных зондирования в системах РАЗ используются такие параметры отраженного сигнала: амплитуда, доплеровский сдвиг частоты или его фаза. Естественно предположить, что метрологические характеристики систем РАЗ должны быть связаны с этими параметрами сигнала, и чем лучше метрологические характеристики системы, тем точнее измеряются параметры сигнала и тем точнее проводятся измерения метеовеличин. Для сертификации аппаратуры РАЗ, создаваемой для измерения той или иной метеовеличины, необходимо корректно выбрать и обосновать нормируемую метрологическую величину. При организации метрологической аттестации необходимо решить вопрос о том, как проводить аттестацию: системы РАЗ в целом или ее основных устройств – радиопередатчика, радиоприемника, генератора мощных импульсов в атмосфере, измерителя информационного параметра принятого радиосигнала, регистратора.

Исследования по методу РАЗ специалисты ХНУРЭ всегда вели в сопровождении ученых-метеорологов, проводя на разных этапах исследований сравнительные измерения метео-

величин штатными датчиками и экспериментальной аппаратурой радиоакустического зондирования. Справедливости ради следует указать, что первые сравнительные измерения были выполнены авторами работы [12], однако признать их результаты корректными не представляется возможным, так как сравниваемые средства размещались на расстоянии 30 км друг от друга. Двумя сериями (с ноября 1974 г. по март 1975 г. и с ноября 1977 г. по март 1978 г.) впервые в мировой практике были проведена вполне корректная сравнительная регистрация вертикальных профилей температуры воздуха, скорости и направления ветра 10-см системой РАЗ и штатными датчиками высотной 300-метровой метеомачты (ВММ) Института экспериментальной метеорологии (г. Обнинск) на короткой базе (сравниваемые средства измерений находились на расстоянии около 150 м) [13]. Максимальная высота регистрации вертикального профиля температуры – 180 – 300 м, параметров ветра – 200 м. В этих экспериментах среднеквадратические отклонения результатов сравнительных измерений такие: по температуре воздуха – (0,1 – 0,5) К; по скорости ветра – (0,2 – 0,6) м/с; по направлению – (1,5 – 5)°. Следует заметить, что полученные значения среднеквадратических отклонений включают в себя методические погрешности, вызванные: влиянием влажности и наличием вертикальных воздушных потоков (при вертикальном зондировании), усреднением результата измерения по конусу зондирования (при наклонном многократном температурно-ветровом РАЗ в нескольких направлениях), существованием турбулентности, флуктуационным характером принятых радиосигналов, конструктивным разнесом антенн радиоканала. Скорее всего, полученные значения среднеквадратических отклонений не могут служить в качестве метрологических характеристик использованной в экспериментах системы РАЗ температурно-ветрового зондирования, т.к. эти отклонения формировались под влиянием аппаратуры и избранной методики зондирования, сезонных условий и климата конкретного географического района в целом. В большей степени они характеризуют погрешность метода РАЗ. Кроме того, критерий малой погрешности штатных метеодатчиков ВММ, использованных в качестве эталонов, не выполнялся. Применение в качестве эталона контактного метеодатчика в таких измерениях приводит к некоторой неоднозначности сравнения, вызванной методикой зондирования. Прежде всего, результаты измерения метеовеличины дистанционным средством зондирования усредняются по некоторому объему, определяемому шириной диаграммы направленности антенны и пространственной протяженностью зондирующего импульса, в то время как метеодатчик осуществляет точечные измерения. Кроме того, имеет место неоднозначность определения высоты измерения, на которой осуществляется измерение метеовеличины дистанционным средством. Большинство разработчиков дистанционных средств зондирования за высоту регистрации метеовеличины при конкретном измерении принимают высоту середины зондирующего акустического импульса, хотя это при РАЗ атмосферы и не всегда правильно.

Учитывая изложенное, на сегодняшний день трудно себе представить устройство, которое могло быть применено в качестве эталона для сличения при метрологической аттестации систем РАЗ температурного или температурно-ветрового зондирования атмосферы, поскольку невозможно эталонизировать погрешность, обусловленную действием реальной атмосферы на процесс РАЗ.

Метрологическая аттестация системы РАЗ, организованная на базе метрологической аттестации отдельных устройств системы, представляется более перспективной.

При дистанционном РАЗ атмосферы для регистрации вертикальных профилей температуры воздуха вертикальным зондированием и многократном наклонном температурно-ветровом зондировании информационным параметром отраженного сигнала является доплеровский сдвиг его частоты. В этом случае относительную среднеквадратическую погрешность измерения скорости звука σ_C когерентной РЛС можно определить из выражения [14]

$$\frac{\sqrt{\sigma C^2}}{C} = \frac{2}{F} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{F_2}^{F_1} W(F) \sin^2 \pi F \tau dF}, \quad (1)$$

где C – измеряемая скорость звука; F – средняя частота доплеровского фильтра; F_1 и F_2 – максимальная и минимальная частоты фильтра соответственно; $W(F)$ – спектральная плотность флуктуаций частоты радиопередатчика; τ – время двухстороннего распространения радиоволн до акустического пакета. Из выражения (1) видно, что для количественной оценки влияния стабильности частоты радиопередатчика на погрешность измерения скорости звука необходимо знание его спектральной плотности мгновенных частотных флуктуаций. Изменение этой характеристики генераторов является сложной технической задачей [15]. Оценку значения погрешности измерения скорости звука доплеровским радиолокатором за счет нестабильности частоты передатчика было проведено несколькими способами.

Если предположить, что в спектре генератора СВЧ содержится спектральная линия и спектр белого шума, допустимая нестабильность частоты генератора может быть выражена через допустимую погрешность измерения скорости звука, время счета периодов доплеровской частоты T и время распространения радиоволн до акустического пакета и обратно, используя результаты работы [16], в виде

$$\frac{\Delta f}{f} = \sqrt{\frac{2T \Delta C}{\tau c}}, \quad (2)$$

где $\frac{\Delta f}{f}$ – нестабильность частоты за время T ; c – скорость распространения радиоволн.

Погрешность измерения температуры воздуха при РАЗ за счет погрешности измерения скорости звука, определяемой относительной кратковременной нестабильностью опорного генератора радиолокатора, при конкретно использованных параметрах зондирования пограничного слоя оценена в работе [14]. Оказалось, что при применении обычной доплеровской схемотехники (кварцевая стабилизация частоты опорного генератора) инструментальная погрешность измерения скорости звука, обусловленная нестабильностью частоты радиопередатчика (при $\frac{\Delta f}{f} \cong 2,4 \cdot 10^{-7}$), составляет $\Delta C_g = \pm 0,6$ м/с. Для снижения погрешности этого вида целесообразно применять в качестве опорного генератора передатчика РЛС стандарты частоты.

В работе [15] приводится выражение, используя которое, можно записать уравнение, связывающее погрешность измерения скорости звука со спектральной плотностью флуктуаций частоты радиопередатчика, в следующем виде:

$$\sigma^2 C = \left(\frac{c}{2\pi f} \right)^2 4\pi \int_{F_2}^{F_1} W(F) \sin^2 \frac{2\pi F \tau}{2} dF, \quad (3)$$

где F_1 – верхняя частота полосы пропускания фильтра приемника РЛС.

При реализации второго способа определения погрешности, в связи со сложностью задачи измерения спектральной плотности флуктуаций частоты в СВЧ диапазоне, определение $W(F)$ производилось для опорного генератора разработанной системы РАЗ. С этой целью снимался числовой массив реализаций частоты опорного генератора в течение 9 мин и 63 мин при времени измерения 10 и 100 с (число отсчетов $n = 36$). Полученный массив выборок частоты обработан на ЭВМ по программе расчета среднего значения, дисперсии среднеквадратического отклонения, корреляционной функции флуктуаций частоты и спектральной плотности в диапазоне частот, определяемой длительностью реализации и временем измерения частотомера. Спектральная плотность флуктуаций частоты, вносимых транзисторными

каскадами умножения и усиления в тракте передатчика [14], определена по методике работы [17]. С учетом примененных фильтров в приемнике и передатчике РЛС получен вид спектральной плотности флуктуаций частоты [18], с использованием которой рассчитана погрешность в измерении скорости звука, равная $\sigma^2 C \approx 0,2 (м/с)^2$, а среднеквадратическое отклонение равно $\sigma C \approx 0,45 м/с$. Для дальнейших оценок примем большее из двух полученных значений погрешности за счет нестабильности частоты передатчика.

Погрешности измерений скорости звука за счет неидеальности других узлов аппаратуры радиоакустического зондирования (радиоприемного устройства со следящим фильтром , блока измерения и регистрации частоты доплеровского сдвига и пр.), а также флуктуационного характера отраженных сигналов составляют [18] $\sigma C_{np} \approx 0,38 м/с$.

Максимальная суммарная погрешность измерения скорости звука доплеровским радиолокатором, выполненном по обычной схемотехнике, составила $\Delta C_{\Sigma} \approx 0,71 м/с$. Такая погрешность измерения скорости звука приводит к погрешности определения температуры $\sigma T \approx 1,2 К$.

Немаловажное значение для обеспечения точности измерения метеовеличин методом и аппаратурой РАЗ имеют методика зондирования и структура алгоритма обработки данных. Например, при температурном РАЗ атмосферы имеет место случай нелинейной связи измеряемого параметра радиосигнала локатора (доплеровский сдвиг частоты) с измеряемой метеовеличиной (температура). Поэтому для корректной обработки данных зондирования расчет значения температуры воздуха необходимо производить для каждого единичного значения доплеровского сдвига частоты и далее усреднять значения температуры воздуха по выбранному интервалу времени зондирования (количеству зондирований) для каждой точки профиля [19]. Увеличение количества зондирований до 16...25 позволяет повысить точность дистанционной регистрации профилей температуры, а погрешность измерения температуры становится приемлемой для практического применения ($\sigma T \approx 0,25...0,3 К$), например, в синоптических расчетах. Такие методика зондирования и структура алгоритма обработки данных температурного и температурно-ветрового профилирования отработаны в ходе длительных экспериментов в различных метеоусловиях и различных географических районах и дают возможность приблизить результаты экспериментальных измерений к метрологически обеспеченным.

Приведенные выше экспериментальные данные сравнительных измерений достаточно хорошо согласуются с расчетными. Определение погрешности измерений температуры воздуха по результатам экстраполяции структурной функции по данным практических измерений приводит примерно к таким же значениям погрешности [20].

Поскольку погрешность измерения скорости звука доплеровским радиолокатором, обусловленная нестабильностью частоты радиопередатчика, является наиболее существенной из всех рассмотренных, в основу метрологической аттестации системы РАЗ как температурного, так и температурно-ветрового зондирования может быть положено значение относительной кратковременной нестабильности частоты опорного генератора доплеровского радиолокатора. Тогда рассчитанная по нему погрешность измерения доплеровского сдвига частоты отраженного сигнала, определяющая погрешность измеряемой метеовеличины, становится метрологической характеристикой систем РАЗ температурного и температурно-ветрового зондирования [21]. Измерение относительной кратковременной нестабильности частоты опорного генератора радиолокатора можно проводить в соответствии с ДСТУ 8.129-99, разработанным для метрологической аттестации стандартов частоты и времени [22].

В ряде разработанных способов измерения влажности воздуха радиоакустическим зондированием информационным параметром отраженного сигнала служит его мощность при одночастотном зондировании атмосферы [23] или отношение мощностей при двухчастотном зондировании [11]. Теоретическая оценка необходимой точности определения отношения мощностей отраженных радиосигналов для измерений влажности в бестурбулентной атмо-

сфере (менее 7% – максимально допустимой погрешности штатных датчиков влажности) показала, что такое отношение должно измеряться с точностью, меньшей 0,4 дБ [11]. Если учесть, что амплитудные радиотехнические измерения считаются наименее точными, то проблема метрологической аттестации таких дистанционных средств измерения влажности становится весьма актуальной, а их эксплуатация должна включать систематическую калибровку трактов радиопередатчика, радиоприемника и генератора пакетов мощных акустических волн.

Известен также способ радиоакустического определения влажности воздуха, основанный на измерении разности фаз двух пакетов акустических колебаний разной частоты, возникающей за счет дисперсии скорости звука во влажном атмосферном воздухе [11]. Для обеспечения той же погрешности измерения относительной влажности воздуха (7%) погрешность измерения фазового сдвига, накопленного в атмосфере, должна составлять $(1-3)^0$ [24]. Источниками погрешности измерения фазового сдвига в системе РАЗ, разрабатываемой для дистанционной регистрации профилей влажности воздуха, являются двухканальные радиопередатчик и радиоприемник, звуковой генератор и электродинамические излучатели. Именно эти устройства и должны быть подвергнуты метрологической аттестации.

Акустическое зондирование и метрологическая аттестация содаров

В настоящее время известны способы акустического зондирования, позволяющие исследовать термическую структуру пограничного слоя [6], измерять скорость и направление ветра в нем [25], проводить регистрацию относительных изменений вертикального распределения температуры воздуха [26]. Параметрами отраженного сигнала, используемыми для извлечения метеорологической информации из данных зондирования, в этих локаторах, как и в системах РАЗ, также могут быть амплитуда, доплеровский сдвиг частоты или его фаза. Поэтому к разработке методики метрологической аттестации содара следует подходить аналогично разработке такой методики для систем РАЗ. При работе содара в режиме регистрации термической структуры атмосферы метрологической аттестации должны подвергаться его устройства, определяющие высоту слоя зондирования, его толщину (или пространственное разрешение), а также временное разрешение. При заданной частоте синусоидального заполнения зондирующего акустического пакета с изменением скорости звука (за счет высотной или сезонной вариации температуры воздуха) изменяется длина акустической волны, что должно учитываться при разработке методики зондирования и расчете погрешности доплеровских измерений.

Заключение

Изложенное позволяет сделать следующие выводы.

1. В настоящее время отсутствуют технические средства измерений, которые могли бы быть использованными в качестве эталона для метрологической аттестации дистанционных систем зондирования атмосферы, использующих электромагнитные и (или) акустические волны.

2. Метрологическую аттестацию этих дистанционных средств зондирования атмосферы целесообразно проводить по информационному параметру отраженного сигнала, погрешность измерения которого определяет погрешность измерения метеовеличины.

3. Метрологическую аттестацию таких средств практически легче проводить путем метрологической аттестации основных устройств системы с учетом того, что суммарная погрешность измерений метеовеличины, определяемая погрешностями отдельных устройств, в целом не должна превышать заданной для данного средства.

Список литературы: 1. Обухов А.М. О рассеянии звука в турбулентном потоке // Доклады АН СССР. – 1941. – 30, №7. – С.611-613. 2. Бронштейн И.М. К вопросу о затухании звука в атмосфере // Изв. АН СССР – 1944. – 8, №4. – С. 430-441. 3. Блохинцев Д.И. Распространение звука в турбулентном потоке // Доклады АН СССР. – 1945, новая серия, XLVI, №4. 4. Головин Н.Я. Акустические артиллерийские

приборы. Ч. 1. Физические основы устройства акустических приборов. – М.: Воениздат, 1940. – 410 с.

5. *Каллистратова М.А.* Экспериментальные исследования рассеяния звука в турбулентной атмосфере // Доклады АН СССР. – 1959. – 125, №7. – С. 67-72. 6. *Макаллистер Л.Е.* и др. Акустическое зондирование – новый метод исследования строения атмосферы // Труды ИИЭР. – 1969. – 57, №4. – С. 340-352. 7. *Smith P. L.* Remote measurements of wind velocity by the electromagnetic-acoustic probe. I. System analysis. 1961. In: Conf. proc. 5th Annu. convention on military electronics. Wash (D.C.), rep № 419, 43-53.

8. *Fetter R. V.* II. Experimental system // Там же. – С. 54-59. 9. *Астахов В.А., Павлов Н.Ф.* Радиолокационно-акустическое зондирование атмосферы // Труды ЛВИКА им. А.Ф.Можайского. Вып. 492. – Л.: ЛВИКА, 1966. – С. 40-49. 10. *Каллистратова М.А., Кон А.И.* Радиоакустическое зондирование атмосферы. – М.: Наука, 1985. – 195с. 11. Радиоакустическое зондирование атмосферы / *Прошкин Е.Г., Бабкин С.И., Г.В.Груша* и др. Разд.2. // Дистанционные методы и средства исследования процессов в атмосфере Земли / под ред. *Кащеева Б.Л., Прошкина Е.Г., Лагутина М.Ф.* – Харьков: Коллегиум, 2002. – С.44-98. 12. *Marshall I.M., Peterson A.M., and Barnes A.A.* Jr. Combined Radar-Acoustic Sounding System. – Appl.Opt. 1972, v.11, №1, p. 108-112. 13. *Бабкин С.И., Милосердова Г.Н., Орлов М.Ю.* и др. Определение температуры, скорости и направления ветра в приземном слое атмосферы // Метеорология и гидрология. – 1980. – 20, № 6. – С.495-500. 14. *Бабкин С.И.* О точности измерения скорости звука в атмосфере доплеровским радиолокатором // Радиотехника. – Харьков: Вища шк. – 1979. – Вып. 50. – С. 67-72. 15. *Багдади (E.L.Baghdady), Линкольн (R.N.Lincoln), Нелин (B.D.Nelin).* Кратковременная стабильность частоты: определение, теория и измерения // ТИИЭР. – 1965. – 53, №7 – С. 811- 831. 16. *Сиднор (R.Sydnor), Колдуэлл (I.I.Coldwell), Роуз (B.E.Rose).* Требования к стабильности частоты в космических системах связи и слежения. // ТИИЭР. – 1966. – 54, №2. – С. 143-149. 17. *Ямный В.Е., Гавра Т.Д.* Экспериментальное исследование частотных флуктуаций кварцевых транзисторных генераторов // Изв. вузов. «Радиоэлектроника». – 1969. – 10, №8. – С. 794-800. 18. *Разработать методику оперативного выявления неблагоприятных метеорологических ситуаций, приводящих к повышенным уровням загрязнения атмосферы* // Отчет по НИР. Гос. Рег.№ 77065488. Ч.2. Науч.рук. Прошкин Е.Г. – Харьков: ХИРЭ Минвуза УССР, 1979. – 64 с. 19. *Оценка погрешностей двух методик радиоакустического температурного зондирования атмосферы.* Сообщение 1. Разработка эксперимента / *Бабкин С.И., Куценко В.И., Максимова Н.Г.* и др. // Радиотехника: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: Вища шк., 1987. – Вып. 82. – С. 78-83. 20. *Оценка погрешностей двух методик радиоакустического температурного зондирования атмосферы.* Сообщение 2 / *Бабкин С.И., Куценко В.И., Максимова Н.Г.* и др. // Радиотехника: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: Вища шк., 1988. – Вып. 84. – С. 98-105. 21. *Бабкин С.И.* К вопросу о метрологической аттестации систем радиоакустического зондирования // Тезисы докладов 7-го Всесоюз. совещания по радиометеорологии. – Суздаль, 1986. 22. *ДСТУ 8.129-99.* Государственная поверочная схема для средств измерения времени и частоты. – Киев: Держстандарт, 2003. – 4 с. 23. *Орлов М.Ю., Юрчак Б.С.* О возможности определения влажности в приземном слое атмосферы радиоакустическим способом // Труды ИЭМ Госкомгидромета. – 1985. – №38/121. – С. 14-20. 24. *Babkin 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", 55, №12, 2001, p. 17-26. 25. *Красненко Н.П.* Акустическое зондирование атмосферы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1986. – 166 с. 26. *Ivan Delov, Nikolay Slipchenko, Alexey Leonidov.* Possibility to Ahhly the Phase Method in Pulse Monostatic Acoustic Sounding for Measurementof Temperature Relative Variations in Atmosphere. URL.: <http://www.isars2010.uvsq.fr> (дата обращения: 14.09.2010).

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 18.01.2011