

О ВОЗМОЖНОСТИ ВВЕДЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА В РЛС СИСТЕМ УВД

Н.И. КРАВЧЕНКО, А.И. ДОХОВ, В.В. ЖИРНОВ, В.И. СТРЕЛЬЧЕНКО

В работе рассматривается возможность применения канала измерения, оценки и выдачи метеообстановки в РЛС системы управления воздушным движением. На основе сравнительного анализа характеристик РЛС УВД и доплеровских метеорологических РЛС, а также требований, предъявляемых к метеорологической информации, определены типы РЛС, перечень операций и программно-аппаратных средств, необходимых для оценки метеообстановки.

In the paper the possibility of application of the channel for measurement, evaluation and output of meteorological information in radars of control systems of air traffic is considered. On the basis of the comparative analysis of the characteristics of the radars and Doppler meteorological radars as well as requirements which are showed to meteorological data, the types of the radars, enumeration of operations and hardware-software tools which are necessary for estimating of meteorological conditions are defined.

Для обеспечения безопасности воздушного движения, в особенности с увеличением его интенсивности, актуальной является проблема оперативного предупреждения и прогнозирования метеорологических явлений, характеризующихся относительно малыми временными и пространственными масштабами, а именно во временном интервале до 2 ч и пространственными масштабами до 80 км. Это существенно меньше пространственно-временных масштабов, используемых в существующих системах метеорологических наблюдений. Возможности извлечения дополнительной метеорологической информации с целью получения данных лучшего качества с высоким разрешением могут быть расширены за счет введения канала оценки и выдачи метеообстановки в РЛС управления воздушным движением (УВД). Высказанные в данной работе предложения могут оказаться полезными при модернизации или разработке новых РЛС УВД.

Доплеровские метеорологические РЛС (ДМРЛ) в настоящее время являются основным источником дистанционного получения оперативной метеоинформации, необходимой для прогнозирования погоды и обеспечения безопасности полетов авиации.

Ниже проводится анализ принципов построения и выбора параметров РЛС, предназначенной для решения метеорологических задач. Приводятся также некоторые соображения о возможности комплексирования РЛС УВД и ДМРЛ на основе разумного компромисса с учетом специфических требований к ним.

1. Основные требования к информации доплеровских метеорологических РЛС

Многолетний опыт получения и использования информации, выдаваемой метеорологической РЛС (МРЛ), позволяет сформулировать следующие основные тактико-технические требования, предъявляемые к доплеровским метеорологическим РЛС [1].

А. Состав выдаваемой информации

Для каждого разрешаемого импульсного объема с координатами R_i, β_i, ϵ_i измерять и выдавать:

- а) среднюю радиальную (доплеровскую) скорость V_i движения гидрометеоров;
- б) ширину спектра скоростей рассеивателей ($\sigma_{V_i} = \frac{\lambda}{2} \sigma_{F_D}$);
- в) параметр плотности гидрометеообразований, характеризующийся множителем отражаемости Z_i .

В. Параметры зоны обзора:

- а) дальность R_M радиолокационных измерений должна превышать 200 км;
- б) сектор обзора по азимуту $\beta_c = 360^\circ$;
- в) сектор обзора по углу места ϵ_c более 60° ;
- г) потолок обзора по высоте $H = 20$ км;
- д) интервал однозначно измеряемых скоростей ветра должен превосходить ± 50 м/с.

С. Точностные характеристики:

- а) среднеквадратические значения погрешностей измерения средней доплеровской скорости и ширины спектра скоростей рассеивателей в пределах импульсного объема не должны превышать 1 м/с до дальности 100 км и 2 м/с – на больших расстояниях;
- б) среднеквадратическая погрешность измерения отражаемости не должна превосходить 1 дБ.

Д. Разрешающая способность:

- а) разрешающая способность по дальности $\delta R \leq 250$ м;
- б) разрешающая способность по угловым координатам $\delta \beta \approx \delta \epsilon \leq 2^\circ$.

Е. Период обновления информации

Период обзора пространства $T_{обз}$ не должен превышать 7...10 мин. За это время нужно передать метеорологическую информацию для каждого импульсного объема из всего количества M в обзоре РЛС. M определяется по формуле

$$M = \frac{R_M}{\frac{c\tau_u}{2}} \frac{\beta_c}{\beta_{0,5}} \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{0,5}},$$

где $\beta_{0,5}, \epsilon_{0,5}$ – ширина диаграммы направленности антенны РЛС по уровню мощности 0,5 в азимутальной и угломестной плоскостях соответственно; τ_u – длительность импульса зондирования; c – скорость распространения электромагнитной волны в атмосфере.

Г. Помехоустойчивость

Коэффициент подавления отражений от земной и водной поверхности, от местных предметов K_n должен быть не менее 50 дБ.

2. Близость характеристик РЛС УВД и ДМРЛ и требований к ним:

- а) параметры зоны обзора по дальности и азимуту примерно одинаковы;
- б) требуемые разрешающие способности по азимуту и дальности примерно одинаковы;
- в) требования к помехоустойчивости относительно отражений от местных предметов, земной и водной поверхности примерно одинаковы;
- г) диапазон несущих частот зондирующих сигналов примерно одинаков.

3. Различие характеристик радиолокационных объектов и требований, предъявляемых к РЛС УВД и ДМРЛ:

а) РЛС УВД выдают информацию о сосредоточенных радиолокационных объектах, линейные размеры которых значительно меньше соответствующих линейных размеров импульсного объема. ДМРЛ выдают информацию о пространственно распределенных протяженных объектах, размеры которых превосходят размеры импульсного объема, причем размеры отдельных гидрометеоров значительно меньше длины волны;

б) ДМРЛ должны выдавать информацию об отражаемости метеорообъектов, характеризуемой параметром Z ,

$$Z = \sum_{i=1}^M d_i^6,$$

где d_i – диаметр i -го гидрометеоров, а M – среднее число гидрометеоров в единице объема.

Точность количественных радиолокационных измерений интенсивности эхо-сигнала от метеорообразований зависит от многих факторов, в том числе от состояния атмосферы, которая очень переменна. Обычно точность радиолокационных измерений отражений от метеорологических объектов не хуже 3 дБ. Для обеспечения измерений отражений от низко расположенной облачности и тумана антенна РЛС устанавливается под малым углом места.

Это требование к РЛС УВД не предъявляется;

в) ДМРЛ должны выдавать информацию о скорости перемещения гидрометеоров, получаемой не путем дифференцирования дальности (что из-за протяженного характера объектов производить невозможно), а определяемой по доплеровскому смещению частоты

отраженных сигналов. В связи с этим ДМРЛ должны быть истинно- либо псевдокогерентными. Для устранения неоднозначности доплеровского смещения частоты соседние пачки зондирующих сигналов должны отличаться по частоте повторения;

г) ДМРЛ должны выдавать информацию о ширине спектра доплеровских скоростей, используемую для распознавания опасных метеоявлений;

д) в однолучевых ДМРЛ метеоинформацию о всех разрешаемых объемах обзора получают за 7...10 мин. Период обновления информации о радиолокационных объектах РЛС УВД составляет всего 5...10 с. Таким образом, здесь имеются существенные различия в темпе обновления информации;

е) для правильного определения отражаемости и скорости ветра антенная система должна формировать либо набор узких парциальных лучей, либо карендашный луч, развертываемый в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

4. Соображения по выбору длины волны λ

При выборе λ [2] учитывают зависимость от ее величины эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) лоцируемых объектов σ , затухания радиоволн при их распространении в атмосфере, ширины диаграммы направленности ($\beta_{0,5}, \epsilon_{0,5}$) при выбранных габаритах антенны, интервалов однозначного измерения дальности и скорости, возможностей промышленности по созданию устройств генерации и приема с требуемыми техническими параметрами, возможности обеспечения электромагнитной совместимости.

Так как диаметр гидрометеоров $d \ll \lambda$, то ЭПР таких частиц $\sigma \sim d^6/\lambda^4$. Для турбулентных неоднородностей показатель преломления $\sigma \sim 1/\sqrt{\lambda}$. Поэтому с точки зрения приемлемых значений ЭПР для ДМРЛ нужно выбирать $\lambda < 0,1$ м. Ослабление γ радиоволны при ее распространении в гидрометеорах [3, с. 232] обратно пропорционально квадрату длины волны ($\gamma \sim 1/\lambda^2$). Поскольку максимальная дальность действия $R_{\max}$ достаточно большая ($R_{\max} > 200$ км), то выбирают $\lambda \geq 3$ см. В специализированных ДМРЛ с небольшой дальностью, информация которых используется для нужд самолетовождения в районе аэродромов, используют $\lambda \approx 0,01$ м. В отечественных МРЛ-1 использовалась $\lambda = 3,2$ см; 0,86 см, в двухчастотных МРЛ-5 использовались волны длиной 10 см и 3,2 см, что обеспечивало распознавание градовых облаков.

Для однозначного измерения дальности и скорости, как это следует из уравнения неопределенности радиолокации $R_M V_M \leq \frac{c\lambda}{8}$, требуется выбирать λ возможно большей. Однако даже при $\lambda = \lambda_M = 0,1$ м однозначность измерения R, V не обеспечивается. Поскольку разрешающая способность по угловым координатам ДМРЛ должна быть высокой ($\beta_{0,5}, \epsilon_{0,5}$ должны быть порядка градуса), то приемлемые габариты антенны могут быть при $\lambda < 10$ см.

Чем меньше λ , тем при заданном разбросе скоростей рассеивателей σ_v ширина спектра низкочастотных флуктуаций метеосигнала $\sigma_F = \frac{2\sigma_v}{\lambda}$ будет больше, соответственно точность измерения доплеровского смещения частоты F_D и ширины спектра флуктуаций ΔF_D будет меньше.

Длина волны зондирующих сигналов РЛС УВД составляет около 10 см, то есть находится в приемлемой области.

5. Обоснование точности привязки отсчетов

Радиолокационные измерения должны обеспечивать возможность определения характеристик:

- интенсивности отражений от метеообразований;
- закона распределения мгновенных значений сигнала (огibaющей);
- корреляционных характеристик отражений от метеообразований.

Для обеспечения возможности оценки перечисленных характеристик определены точности привязки по дальности дискретизированного сигнала. Точность привязки отдельной дискреты дальности (отсчета) обеспечивается точностью привязки дискреты к переднему фронту импульса запуска. Основываясь на требуемой точности оценки корреляционных характеристик ρ сигнала (пачки импульсов) при заданном объеме выборки, погрешности измерения ^{к-т, корреляции} временного расположения отраженного импульса $r(t)$ определяются его относительным среднеквадратичным отклонением σ_r , определяемым по формуле

$$\sigma_r = \frac{1-\rho}{\sqrt{n-1}}.$$

Зная априорные значения коэффициента корреляции отражений от метеообразований ($\rho \approx 0,85 \dots 0,95$) и типовой объем выборки, можно определить значения σ_r . На рис. 1 показаны графики зависимости σ_r от ρ для различных значений объемов выборки n (10, 20 и 100). Из рисунка видно, что при $\rho = 0,85 \dots 0,95$ и объеме выборки $n = 20$ σ_r лежит в пределах $0,064 \dots 0,022$. Таким образом, при длительности импульса $\tau = 1$ мкс среднеквадратичное отклонение точности привязки дискреты дальности к переднему фронту импульса запуска должно составлять $22 \dots 64$ нс.

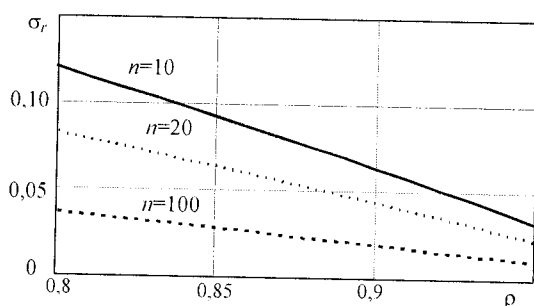


Рис. 1. Зависимость σ_r от ρ

6. Требование когерентности

Для обеспечения требуемой точности измерения скорости V_i движения гидрометеоров РЛС с передатчиком недостаточной когерентности необходимы дополнительные меры по обеспечению «внешней» когерентности принимаемого сигнала. Это означает, что обработка сигнала должна производиться после устраниения случайной начальной фазы в пределах объема выборки n (пачки импульсов). Для этого на фазовый детектор (рис. 2) в качестве опорного сигнала подается напряжение когерентного гетеродина, сфазированное зондирующим импульсом сигнала.

Для поддержки режима кругового обзора и согласования с требованием работы в режиме реального времени используется промежуточное быстродействующее оперативное запоминающее устройство (ОЗУ).

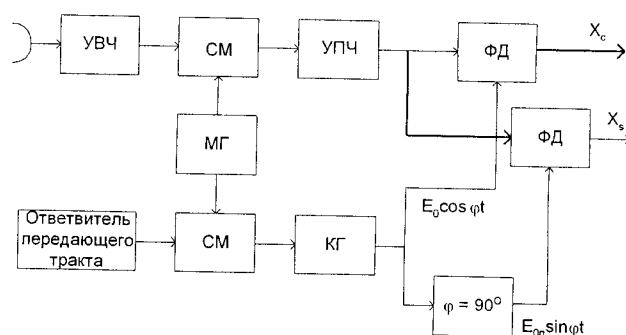


Рис. 2. Схема устранения случайной начальной фазы

На приведенном рисунке использованы следующие обозначения: УВЧ – усилитель высокой частоты, СМ – смеситель, УПЧ – усилитель промежуточной частоты, МГ – местный гетеродин, КГ – когерентный гетеродин, ФД – фазовый детектор, X_c – косинусная составляющая выхода с ФД, X_s – синусная составляющая выхода с ФД.

7. Измерение отражаемости

Безопасность полетов авиации зависит от вида и параметров гидрометеоров. В частности, одним из важных параметров разных типов гидрометеообразований (туман, облако, дождь, град) является плотность, которую характеризуют с помощью множителя отражаемости Z .

Мощность отраженных сигналов от метеообразований

$$P_{np} = \frac{P_a G}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2} A_a h_a h_{am},$$

где R – расстояние от отражателей выделенного импульсного объема; $G, A_a \pm \frac{G\lambda^2}{4\pi}$ – коэффициент усиления и эффективная площадь антенны соответственно; h_a, h_{am} – коэффициенты потерь в АФС и в атмосфере соответственно.

Эффективная площадь рассеивания σ отражателей импульсного объема

$$\delta V = \frac{c\tau_a}{2} R\beta_{0,5} R\epsilon_{0,5}$$

выражается через удельную объемную эффективную плотность рассеивания α_v (эффективная поверхность рассеивания отражателей, находящихся в единице объема) следующим соотношением:

$$\sigma = \alpha_v \delta V.$$

Если диаметр гидрометеора $d_i < \lambda$, то ЭПР i -го сферического гидрометеора с диэлектрической проницаемостью ϵ равна

$$\sigma_i = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1} \right)^2 d_i^6, \text{ а } \alpha_v = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1} \right)^2 \sum_{i=1}^M d_i^6,$$

где M — число гидрометеоров в единице импульсного объема. Величина $\sum_{i=1}^M d_i^6$ характеризует плотность гидрометеоров в единице импульсного объема, ее называют множителем отражаемости Z . Размерность радиолокационной отражаемости $\frac{ММ^6}{М^3}$. Величину Z чаще выражают в децибелах по отношению к ее величине при среднем уровне шума приемника измерителя. Тогда

$$P_{np} = \frac{P_a G}{4^3 \lambda^2} \frac{\pi^2}{R^2} \left(\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1} \right)^2 \beta_{0,5} \epsilon_{0,5} h_a h_{am} Z = \frac{A}{R^2} Z,$$

$$\text{откуда } Z = \frac{R^2}{A} P_{np}.$$

Для грубой оценки отражаемости Z можно воспользоваться эмпирическими соотношениями. Так, интенсивность отражаемости метеорообразований типа дождя r связано с множителем отражения Z эмпирическим соотношением $Z = ar^b$, где значения a и b зависят от вида грозы и длительности наблюдения. Наиболее типичным является соотношение

$$Z = 200r^{1,6}.$$

Значительный вклад в изменчивость значений a и b дает распределение ветра внутри грозовых образований. Для осадков в виде снега удовлетворительные результаты дает следующее эмпирическое соотношение между Z и r :

$$Z = 100r^{1,6},$$

где r — интенсивность снегопада в мм/ч в пересчете на воду, т. е. после таяния.

Радиолокационная отражаемость метеобъектов изменяется в широких пределах (для туманов $Z = -20 \dots -30$ дБ, для облаков без осадков $Z = -20 \dots +20$ дБ, для слоистых облаков до 40 дБ, для кучевых дождевых облаков $Z > 40$ дБ). При $Z > 40$ дБ облако считают градоопасным. Поэтому для измерения отражаемости динамический диапазон приемного тракта должен быть не менее 80 дБ.

Для получения информации об отражаемости метеоканал должен включать:

а) измеритель интенсивности метеосигнала;

б) процессор, вычисляющий Z по измененным величинам интенсивности отраженного сигнала P_{np} , дальности R и известном значении A ;

в) блок вывода информации об отражаемости на индикатор.

Для обеспечения необходимых измерений:

а) если потребуется, то расширить динамический диапазон приемного тракта до требуемой величины (например, за счет использования УПЧ с логарифмической динамической характеристикой);

б) необходимо предусмотреть систему калибровки измерителя. Отражаемость необходимо измерять в каждом парциальном канале.

8. Определение ширины спектра низкочастотных флуктуаций метеосигнала

Распознавание шквалов и микрошквалов атмосферы, представляющих опасность для авиации, можно производить на основе анализа ширины спектра низкочастотных флуктуаций метеосигнала. Турбулентность атмосферы вызывает увеличение разброса скоростей гидрометеоров, их ускоренное перемещение в пределах импульсного объема, что является причиной убыстрения флуктуаций огибающей сигнала, расширением ширины доплеровских скоростей.

Полагая, что метеосигнал $U = E \cos \varphi$ является нормально распределенным случайным процессом, огибающая E которого распределена по закону Рэлея, можно показать ([4], с. 196), что коэффициент корреляции огибающей

$$r_E(\tau) = \frac{\overline{(E - \bar{E})(E_\tau - \bar{E})}}{(\bar{E} - \bar{E})^2} \approx \frac{\overline{EE_\tau} - (\bar{E})^2}{\bar{E}^2 - (\bar{E})^2} \approx 0,921\rho^2 + 0,058\rho^4 + \dots$$

где $\rho^2 = r^2 + s^2$. Если обозначить энергетический спектр процесса $U(t)$ как $F(\omega) = g(\omega - \omega_0)$, то

$$r(\tau) = \frac{1}{\sigma^2} \int_0^\infty g(v) \cos(v\tau) dv,$$

$$s(\tau) = \frac{1}{\sigma^2} \int_0^\infty g(v) \sin(v\tau) dv.$$

В случае, когда спектр $g(v)$ узкополосный и симметричен, то $s(v) \approx 0$ и $p(\tau) = r(\tau)$, а коэффициент корреляции огибающей при этом будет определяться выражением

$$r_E(\tau) \approx 0,92r^2(\tau) + 0,058r^4(\tau).$$

Спектр огибающей E можно рассматривать как наложение отдельных полос. Чем выше показатель степени r , тем шире полоса спектра, соответствующая этому члену ряда. На компонент, соответствующий первому члену ряда, приходится 92 % полной интенсивности.

Если, например, метеоосигнал $U(t)$ представляет собой простой марковский процесс, для которого коэффициент корреляции $r_u(\tau) = e^{-|\tau|}$, то

$$\frac{1}{\sigma^2} F(\omega) = \int_0^\infty r_u(\tau) \cos \omega \tau d\tau = \frac{2\beta}{\beta^2 + \omega^2},$$

$$\frac{F(\omega)}{F(0)} = \frac{\beta^2}{\beta^2 + \omega^2} = F_n(\omega),$$

$$F_n(\omega) = \frac{1}{2} = \frac{\beta^2}{\beta^2 + \frac{1}{4}\Delta\omega^2},$$

а ширина спектра флуктуаций сигнала

$$\Delta\omega = 2\beta = -2 \frac{\ln r(T)}{T}.$$

Тогда в первом приближении

$$r_E(\tau) \approx r^2(\tau) = e^{-2|\tau|},$$

а ширина спектра низкочастотных флуктуаций огибающей

$$\Delta\omega_E = 2\pi\Delta f_E \approx -4 \frac{\ln r(T)}{T},$$

откуда видно, что ширина спектра низкочастотных флуктуаций огибающей $\Delta\omega_E$ вдвое шире $\Delta\omega$ метео-сигнала.

Дополнительная аппаратура для определения ширины спектра низкочастотных флуктуаций включает:

а) АЦП выходных сигналов амплитудного детектора приемно-усилительного тракта с достаточно большим динамическим диапазоном до 80 дБ;

б) устройство запоминания оцифрованных амплитуд пачки;

в) процессор, осуществляющий ДПФ;

г) устройство индикации.

9. Измерение скорости ветра

Знание скорости ветра необходимо как для службы погоды, так и для обнаружения опасных явлений. Из-за протяженного характера метеообразований измерять их скорость методом дифференцирования дальности невозможно. Измерять скорость ветра V_r таких метеообразований по величине доплеровского смещения частоты ($F_\theta = \frac{2V_r}{\lambda}$) способны РЛС с истинной или псевдокогерентностью.

С целью защиты от пассивных помех, образуемых отражениями от земной поверхности, облаков, гидрометеоров, современные РЛС УВД являются когерентно-импульсными. Оцифрованные выходные сигналы фазовых детекторов квадратурных каналов систем селекции движения целей могут быть использованы в качестве входной информации для измерителей доплеровского смещения частоты (F_θ). Таким образом, после введения некоторых доработок имеется принци-

пиальная возможность измерения F_θ и соответственной радиальной составляющей скорости ветра $V_r = \frac{\lambda}{2} F_\theta$.

Основные проблемы, возникающие при введении доработок с целью возможности измерения F_θ , связаны:

а) с ограниченностью длительности выборки сигналов $T = NT_n$, которая влияет на погрешности измерения

F_θ (в первом приближении $\sigma_{F_\theta} \sim \frac{1}{NT_n}$, где σ_{F_θ} – среднеквадратическая погрешность измерения частоты, а N – число периодов посылок T_n импульсов в обрабатываемой пачке);

б) с недостаточной стабильностью частоты колебаний передатчика, местного и когерентного гетеродинов, частоты повторения и времени задержки;

в) с необходимостью устранения неоднозначности измерений F_θ , что потребует генерирования пачек зондирующих сигналов с разными частотами повторений и введения устройства определения истинного значения частоты Доплера по измеренным частотам пульсаций.

По ширине диаграммы направленности в азимутальной и угломестной плоскостях, несущей частоте и длительности зондирующих сигналов пригодны нижние парциальные каналы многоканальных РЛС УВД.

Выводы

Выбранные принципы построения и параметры РЛС, предназначенной для решения конкретных информационных задач, не могут быть в полной мере пригодны (оптимальны) для всех тех РЛС, к которым предъявляются иные информационно-технические требования. Тем не менее, в условиях существующих экономических ограничений отвергать целесообразность исследования вопроса о возможности комплексирования РЛС УВД и ДМРЛ на основе разумного компромисса было бы неразумно.

Из существующего парка отечественных РЛС наиболее подходящими для получения метеорологической информации после соответствующих доработок являются «Лира-А-10», АОРЛ-85, ПРВ-17. Предлагаемый дополнительный информационный метеоканал оценки и выдачи метеообстановки пригоден для использования в аппаратуре съема и обработки информации в трассовых и аэродромных обзорных РЛС УВД как при их модернизации, так и во вновь создаваемых.

Метеоканал позволяет производить статистический анализ, оценку и отображение метеорологической информации при наличии на входе амплитудной информации с выхода приемного тракта РЛС. Оценка и выдача информации о метеообстановке может осуществляться с требуемой точностью по требованию потребителя по следующим параметрам:

- границы облаков и плотности облачности;
- величина и направление скорости перемещения облачности (ветра);
- тип облака (туча, грозовая туча и т. д.).

При этом:

Определение границ и плотности облачности осуществляется по измеренным значениям плотности радиолокационной отражаемости.

Измерение величины и направления скорости перемещения облачности (ветра) осуществляется по величине доплеровского смещения частоты отраженного радиосигнала.

Распознавание типа облаков производится по ширине спектра радиолокационного сигнала и изменчивости спектра от обзора к обзору.

Литература. 1. Мельников В.М. Обработка измерений в доплеровских МРЛС // Зарубежная радиоэлектроника. 1993. № 4. С. 35–43. 2. Рыжков А.В. Характеристики метеорологических РЛС // Зарубежная радиоэлектроника. 1993. № 4. С. 29–34. 3. Скольник М. Справочник по радиолокации. Т. 1. М.: Сов. радио. 1976. 4. Бунимович В.И. Флуктуационные процессы в радиоприемных устройствах. М.: Сов. радио. 1951. 360 с.

Поступила в редколлегию 15.10.2002 г.



Кравченко Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор ХНУРЭ. Область научных интересов: радиолокация, обработка сигналов.



Дохов Александр Иванович, кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, заместитель проректора по научной работе ХНУРЭ. Область научных интересов: радиометрия, радиолокация.



Жирнов Владимир Витальевич, кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, вед. научн. сотр. ХНУРЭ. Область научных интересов: радиоэлектроника, радио и оптическая локация, обработка сигналов и информации.



Стрельченко Владимир Иосифович, научн. сотр. ХНУРЭ. Область научных интересов: радиолокация, обработка сигналов.