

УДК 551.508.85

METHOD OF COMBINATION OF LANDBASED AND RADAR METEOROLOGICAL INFORMATION

МЕТОДИКА СОВМЕЩЕНИЯ НАЗЕМНОЙ И РАДИОЛОКАЦИОННОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

S.Yu. Gudenko, *PhD student*, **S.I. Zaichko**, *PhD, associate professor*
С.Ю. Гуденко, аспирант, **С.И. Заичко**, к.т.н., доцент

Odessa National Maritime Academy, Ukraine
Одесская Национальная Морская Академия, Украина

ABSTRACT

Method of overlaying land based meteorological information containing hazardous weather phenomena with radar image is given in the paper.

It is suggested to provide vessel traffic services (VTS) in Ukraine with equipment based on the mentioned method.

Key words: weather radar, meteorological information, berthing, vessel traffic service.

Постановка проблемы в общем виде

Безопасность захода судов в порты определяется не только профессионализмом капитана и лоцмана, но и климатическими условиями данного региона. Масштаб атмосферных изменений может превышать площади акватории порта. Если порт находится в зоне большого города, то город оказывает существенное влияние на прозрачность воздуха его химический состав, температуру, влажность, параметры циркуляции. Необходимо учитывать как орографии порта, так и синоптические процессы в данный момент времени. Использование метеорологических радиолокаторов (МРЛ) дает возможность с достаточной точностью и оперативностью обеспечить команду судна достоверной в реальном времени информацией о погодной ситуации порта швартовки.

Анализ последних достижений и публикаций

Сегодня оперативные многофункциональные метеорологические автоматизированные радиолокационные системы созданы в США, Англии, Франции, Германии, Испании, Скандинавских странах, Австралии [3-5]. Их создания являлось одним из важных научно-техническим достижением последнего десятилетия XX века. Однако в Украине, которая располагает множеством морских и речных портов, такие системы отсутствуют, что снижает безопасность захода в порт судна при сложившихся метеоусловиях. Информация многофункциональной метеорологической радиолокационной системы должна использоваться в порту для штормового оповещения судов об опасных

гидрометеорологических явлениях, сверх краткосрочного прогноза погоды, волнении, ледовой обстановке с темпом обновления информации 10-15 минут. Однако в приведенных публикациях отсутствует методика совмещения наземной и радиолокационной метеорологической информации необходимой при установке МРЛ в данном регионе.

Целью данной статьи является разработка методики совмещения метеоинформации наземной сети с радиолокационными данными, которая даст возможность для каждого порта определить радиолокационно-критериальное значение опасных явлений погоды и тем самым существенным образом повысить вероятность радиолокационного распознавания опасных явлений погоды и высокую достоверность прогноза погоды в районе порта.

Изложение основного материала

Для решения поставленной задачи весь полигон радиусом 200 км, в котором будет функционировать МРЛС, разбивается на квадраты в зависимости от числа метеостанций так, чтобы в каждый квадрат попадала одна метеостанция. Все метеостанции описывают условно погоду данного региона, в котором расположен порт и позволяет получить пространственно-временное распределение метеоэлементов в любой климатический период. Все метеоданные систематизируются и распределяются по метеорологическим срокам 21, 03, 09 и 15 часов в виде таблиц и стандартных бланк - карт МРЛ с нанесенными на их начениями метеорологических элементов. Рассчитывается среднее начения за квартал по каждому метеоэлементу за четыре срока наблюдений. Исследуются приземные поля метеоэлементов и их связь с процессами облакообразования. Для более наглядного представления о пространственном распределении поля температуры, влажности, давления и скорости ветра, по срокам для исследуемого полигона на бланк – карте МРЛ за каждый срок проводятся изотермы, которые позволяют выделить максимальное и минимальное значение и соответствующий им сектор полигона, значение влажности учитываются в каждом квадрате полигона т.к. использование изолинийне совсем приемлемо в вязи с неоднозначностью пространственного распределения значений влажности. Поля давления представляется с омощьюизобар как за каждый срок, так и за сезон. Для анализа пространственно-временного распределения поля ветра на картах МРЛ за каждый срок проводятся изотермы. Для каждого срока составляются карты распределения общей и нижней облачности по полигону, на которых в центре каждого квадрата указывается их среднее значение в баллах. Затем для полигона проводится исследование полей облачности во взаимосвязи с полем температуры, влажности, давления, скорости ветра. Особое внимание уделяется повторяемости кучево-дождевой облачности на метеостанциях исследуемого полигона в радиусе 200 км и на бланк-картах МРЛ строится их распределение за сезон и по срокам наблюдений. Анализируется пространственно-временное распределение поля осадков по метеостанциям и в целом по полигону и их сопоставление с полями облачности.

Полученная метеоинформация позволяет после установки МРЛ исследовать взаимосвязь наземных метеоданных с радиолокационными. Одним из основных параметров МРЛ, характеризующих метеобъект (облака, осадки, циклоны, волнение, ледовое покрытие) является радиолокационная отражаемость связанная с радиоэхо на индикаторах МРЛ. Для каждого типа метеобъекта на картах МРЛ строится сезонное пространственное распределение радиоэхо, которое затем сравнивается с пространственным распределением того или иного метеоэлемента. Наибольшую опасность для захода судна в порт представляет туман, сильные ливневые осадки, снегопады, град, шквалы, смерчи, гроза. Если в пункте радиолокационного наблюдения устанавливается некогерентный МРЛ с импульсной модуляцией излучаемых сигналов, то для получения информации о метеобъектах используются основные уравнение радиолокации [1]:

$$P_{\text{пр}} = \frac{\pi^3 P_u G^2 \theta^2 c \tau_u}{512 R^2 \lambda^2} \sum d_i N(d_i) d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 K_3 10^{-0,2 \int_0^R \gamma_{\Sigma}(R) dR}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пр}}$ – средняя мощность отраженного от метеоцели сигнала, разы;
 G – коэффициент направленного действия антенны МРЛ, безразмерное;
 θ – ширина диаграммы направленности антенны, радианы;
 c – скорость света, м/с⁻²;
 τ – длительность излучаемого импульса в МРЛ, мкс;
 R – расстояние до метеобъекта 10³ м;
 λ – длина волны излучаемой МРЛ в СМ;
 d_i – диаметр частиц облаков или осадков МНМ; 10⁻⁶ м;
 N – число частиц в радиолокационном объеме метеоцели; ед.;
 m – комплексный показатель преломления вещества частиц безразмерное;
 K_3 – коэффициент заполнения радиолокационного объема частицами облаков и осадков, относительных единиц;
 γ – коэффициент ослабления электромагнитной энергии по трассе, дБ · 10⁻³ м.

При использовании доплеровской МРЛ с непрерывным излучением информация о метеоцели заключение в доплеровской частоте или спектре доплеровских частот непрерывного выходного сигнала, т.е. [2]:

$$F_d = \pm \frac{2V_R}{\lambda},$$

где V_R – радиальная составляющая скорости движения метеобъекта.

Если используются когерентно-импульсные МРЛ, то метеорологическая информация заключена в изменениях амплитуд отраженных импульсов на выходе фазового детектора, т.е.

$$U_{\text{вых}} = \sqrt{U_{\text{кг}}^2 + U_{\text{отр}}^2 + 2U_{\text{кг}} \cdot U_{\text{отр}} \cos(\omega_d t + \phi_o + \phi_y)}, \quad (3)$$

где $U_{\text{кг}}$ – напряжение когерентного гетеродина, В;
 t – время – с;
 ϕ_o – начальная фаза колебаний, град.;

ϕ_y – сдвиг фазы сигнала при отражении, град.

Причем, сигнал на выходе фазового детектора представляют собой последовательность видеоимпульсов модулированных по амплитуде с частотой Доплера.

При использовании радиолокационного метеорологического поляриметра, информация о метеоцели заключена в матрице рассеяния, которая входит в уравнение радиолокации поляризационной МРЛ [1,2] :

$$\begin{bmatrix} I_{\text{пр}} \\ Q_{\text{пр}} \\ U_{\text{пр}} \\ V_{\text{пр}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{\text{изл}} \\ Q_{\text{изл}} \\ U_{\text{изл}} \\ V_{\text{изл}} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где I, Q, U, V – параметры Стокса излучаемой и принимаемой волны, б.р.;
 $T_{11} - T_{44}$ – коэффициенты матрицы рассеяния метеоцели, б.р.

Параметры Стокса связаны с амплитудами и фазами волны зависимостью (5)

:

$$\begin{aligned} I &= E_x^2 + E_y^2 \\ Q &= E_x^2 - E_y^2 \\ U &= 2E_x E_y \cos \phi_{xy} \\ V &= 2E_x E_y \sin \phi_{xy} \end{aligned} \quad (5)$$

где E_x и E_y - амплитуда ортогональных компонент электромагнитной волны, В;
 ϕ_{xy} - разность фаз между ними, град.

Любая из приведенных радиолокационных систем может устанавливаться в морском порту и обеспечивать оперативной метеоинформацией диспетчера порта и капитана судна как в ручном, так и в автоматизированном режиме. При установке радиолокационного метеорологического поляриметра, распознавание опасных для судна явлений погоды может производиться с использованием правила максимума правдоподобия, а в качестве признака распознавания значения параметров Стокса. В соответствии с этим правилом проверяется выполнение условия (5), например, при распознавании кучево-дождевых грозных и ливневых облаков при использовании в качестве информативного первого параметра Стокса:

$$\frac{W(\lg I / Cb_R)}{W(\lg I / Cb_{\nabla})} \geq 1. \quad (6)$$

Для решения задачи распознавания необходимо знать законы распределения $W(I/Cb_R)$ и $W(\lg I / Cb_{\nabla})$, которые являются нормативными для каждого параметра Стокса, измеренного на данной высоте H_1, H_2, H_3, H_{12} . С учетом этого, левую часть уравнения (6) можно преобразовать к виду

$$\frac{W(\lg I / Cb_R)}{W(\lg I / Cb_V)} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi G_R}} \cdot e^{-\frac{(\lg I - m_R)^2}{2G_R^2}}}{\frac{1}{\sqrt{2\pi G_V}} \cdot e^{-\frac{(\lg I - m_V)^2}{2G_V^2}}} \quad (7)$$

где m_R, R - математические ожидания логарифма I облаков Cb_R и Cb_V , б.р.;
 Q_R^2, Q_V^2 - дисперсии логарифма I Cb_R и Cb_V на высоте H_1 , б.р.

После преобразования (7) получим:

$$a(\lg I)^2 + b \lg I + e \geq \ln \frac{G_R}{G_V} \quad (8)$$

По (8) находим критериальное значение $I_{кр}$. При всех измеренных значениях $I \geq I_{кр}$ неравенство (7) будет справедливым, т.е. в зоне действия МРЛ находятся кучево-дождевые облака с грозой.

Выводы

Впервые предложена методика, которая позволяет провести обоснование установки метеорологических радиолокаторов в данном регионе, получить критериальные значения радиолокационных параметров для распознавания опасных метеорологических условий при заходе судна в порт и, тем самым, обеспечить безопасность данной операции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжков А.В. Характеристики метеорологических РЛС / Рыжков А.В. – Зарубежная радиоэлектроника, 1993, № 4.- С. 29-34.
2. Довиак Р. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения /Довиак Р., ЗрничД. – Л: Гидрометиздат, 1998-512 с.
3. Curtis / Mountain Zebra: Real time archival and 4 D visualization of radar volumes over complex terrain./ I. Curtis // COST 75, 1999. P. 297-306.
4. Кольер К.Г. Создание сети метеорологических радиолокаторов в Европе/ Кольер К.Г. – проект COST – 73 Комиссии европейского сообщества. – Бюллетень ВМО, 1991, Т. 40, № 4, с. 445-451.
5. C.G.Collier The development of a weather radar network in Western Europe/ C.G. Collier – COST 73, 1989. P . 3-16.