

УДК 551.508.85 (551.576 +551.577) DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.184-191

USE OF SHIP RADARS FOR EFFECTIVE DISCOVERY OF DANGEROUS ATMOSPHERIC FORMATIONS ON WAY OF SHIP**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУДОВЫХ РЛС ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОПАСНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ПУТИ СУДНА****V.Yu. Revenko, PhD student****В. Ю. Ревенко, аспирант***National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

Atmospheric fronts and cyclones are accompanied by the thundershower sinking, thunderstorms, gusty winds defiant strong agitation of marine surface. Such atmospheric educations have influence on the radioconduct of navigation objects, that results in the decline of safety of navigator. The special danger is presented by a storm cumulo-nimbus. The area of mesocyclone is often preceded a cumulo-nimbus cloud with turbo speed of circulation of air anticlockwise with sizes to fifteen kilometres. Circulation begins at an altitude of 6-7 km and develops rapidly towards the water surface. The mesoscale zones of fallouts, related to the cyclone, have the appearance of long stripes breadthways an about 100 km the Annual amount of fallouts in tropical zones (in the district of Singapore) arrives at a to 2413 mm with a maximum in January (288 mm). High spatial changeability of intensity and amount of fallouts determines natural dispersion of descriptions of fallouts, that causes the large errors of their weather prognosis. In the zones of active atmospheric fronts a navigator is related to the certain danger of negative influence of long-living cumulo-nimbus that does not reveal meteorological companions. In connection with impossibility of a brief weather prognosis of origin and development of violent weathers there is a necessity for the use ship radar, that in real time allows to discover in the distance many ten of kilometres development of mesocyclone, to measure his speed and direction of motion, i.e. to carry out storm detection and short-term weather forecast on the way of ship. However to present tense for navigators is absent radio-location criteria of storm alert, and at ship radar automatic recognition of the dangerous phenomena on the way of ship.

By perspective direction in perfection ship radar there is an increase of their informing radiometeorological methods, that allow to use ship radar not only for the supervision of navigation objects on the way of ship but also for stormy notification about the dangerous hydrometeorological phenomena, measuring of falling out fallouts and supershort-term weather forecast. The radio-location maps of prognosis of violent weathers directionally ship with the rate of updating 10-15 minutes will act on the personal computer of shipmaster in the coloured kind. The zone of supervision of ship radio-locator will be entered by a cumulo-nimbus with a mesocyclonic area

and zones of thundershower fallouts, gusty winds and thunderstorms. The receipt of radio meteorological information is based on radio-location descriptions of meteorological formations, the reflected of atmospheric educations, effective area of reverse dispersion, coefficient of weakening of radio waves behave to that.

By basis for the use of radio-location descriptions of atmospheric educations in informing ship radar there is basic equalization of radio-location, relating power of echo-signal from atmospheric educations with informative parameters radar taking into account relatively large stability of her basic parameters (meteorological potential). At a supervision ship radar the dangerous atmospheric phenomena the effective radius of their discovery, determined by distance, on that the dangerous phenomenon reveals ship radar with probability no less than 95 %. There are limitations, reducing efficiency of radio-location supervision of dangerous atmospheric educations, is entered. It is high local objects (hills, towers, mountains etc.) that create the corners of closing of their discovery. However, this limitation inherently only in off-shore districts and at a port call.

The analysis of equalization of radio-location and his informing are considered for ship radar, and also the tasks decided by means of ship radar on authentication of the dangerous atmospheric phenomena on the way of ship.

Key words: ship radar, information content, radar parameters, atmospheric objects, detection efficiency.

РЕФЕРАТ

Атмосферні фронти і циклони супроводжуються зливовими опадами, грозами, шквалистими вітрами, що викликають сильне хвилювання морської поверхні. Такі атмосферні утворення роблять вплив на радіоведення навігаційних об'єктів, що призводить до зниження безпеки судноводіння. Особливу небезпеку представляють купчасто-дощові грозові хмари. Часто купчасто-дощовій хмарі передує область мезоциклону з підвищеною швидкістю циркуляції повітря проти годинникової стрілки з розмірами до п'ятнадцяти кілометрів. Циркуляція починається на висоті 6-7 км і швидко розвивається у напрямі до водної поверхні. Мезомасштабні зони опадів, які пов'язані з циклоном, мають вигляд довгих смуг шириною близько 100 км. Річна кількість опадів в тропічних зонах (у районі Сінгапуру) досягає до 2413 мм з максимумом в січні (288 мм). Висока просторова мінливість інтенсивності і кількості опадів визначає природну дисперсію характеристик опадів, яка викликає великі помилки їх синоптичного прогнозу. У зонах активних атмосферних фронтів судноводіння пов'язане з певною небезпекою негативної дії довгоживучих купчасто-дощових хмар, які не виявляються метеорологічними супутниками. У зв'язку з неможливістю короткочасного синоптичного прогнозу виникнення і розвитку небезпечних явищ погоди виникає необхідність у використанні суднової РЛС, яка в реальному часі дозволяє виявити на відстані багатьох десятків кілометрів розвиток мезоциклону, виміряти його швидкість і напрям руху, тобто здійснити штормовиявлення і короткостроковий прогноз погоди на шляху судна. Проте

до теперішнього часу у судноводіїв відсутні радіолокаційні критерії штормового оповіщення, а у суднової РЛС автоматичне розпізнавання небезпечних явищ на шляху судна.

Перспективним напрямом у вдосконаленні суднових РЛС є підвищення їх інформативності радіометеорологічними методами, які дозволяють використати суднової РЛС не лише для спостереження навігаційних об'єктів на шляху судна, але і для штормового сповіщення про небезпечні гідрометеорологічні явища, вимірювання випадних опадів і надкороткострокового прогнозу погоди. Радіолокаційні карти прогнозу небезпечних явищ погоди по траєкторії судна з темпом оновлення кожні 10-15 хвилин поступають на персональний комп'ютер капітана судна в кольоровому вигляді. До зони спостереження суднового радіолокатора увійдуть купчасто-дощові хмари з мезоциклічною областю і зонами зливових опадів, шквалистими вітрами і грозами. Отримання радіометеорологічної інформації ґрунтоване на радіолокаційних характеристиках метеоутворень, до яких відносяться відбиваність атмосферних утворень, ефективна площа зворотного розсіяння, коефіцієнт послаблення радіохвиль.

Основою для використання радіолокаційних характеристик атмосферних утворень в інформативності суднової РЛС є основне рівняння радіолокації, що зв'язує потужність луно-сигналу від атмосферних утворень з інформаційними параметрами РЛС з урахуванням відносно великої стабільності її основних параметрів (метеорологічного потенціалу). При спостереженні судновою РЛС небезпечних атмосферних явищ вводиться ефективний радіус їх виявлення, визначуваний відстанню, на якій небезпечне явище виявляється судновою РЛС з вірогідністю не менше 95 %. Існують обмеження, що знижують ефективність радіолокаційного спостереження небезпечних атмосферних утворень. Це високі місцеві предмети (сопки, вежі, гори і т.п.), які створюють кути закриття їх виявлення. Проте це обмеження властиво тільки в прибережних районах і при заході в порти.

Розглянутий аналіз рівняння радіолокації і його інформативність для суднової РЛС, а також завдання, що вирішуються за допомогою суднової РЛС щодо ідентифікації небезпечних атмосферних явищ на шляху судна.

Ключові слова: суднова РЛС, інформативність, параметри радіолокаційні, атмосферні об'єкти, ефективність виявлення.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с научными и практическими задачами

Одним из путей повышения информативности судовых РЛС при обеспечении безопасности транспортных перевозок является применение системы радиовидимости опасных явлений погоды на пути судна с прогнозом их развития при эффективном радиусе обнаружения.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных вопросов

Одним из подходов к решению поставленной задачи по определению эффективности обнаружения опасных атмосферных образований судовой РЛС является применение радиометеорологических методов, которые позволяют повысить радиовидимость опасных атмосферных образований на пути судна [1-6]. Исследования, выполняемые в статье, базируются на основополагающих теоретических и экспериментальных результатах использования радиолокационных методов применительно к радиолокационному исследованию опасных атмосферных образований, изложенных в работе [1].

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью данной статьи является обоснование возможности использования судовой РЛС для обнаружения опасных явлений погоды на пути судна.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Радиолокационные методы обнаружения опасных атмосферных образований базируются на отражении и рассеянии радиоволн частицами облаков и осадков, которые создают суммарный эхо-сигнал, несущий метеорологическую информацию об отражающих объемах. С целью установления взаимосвязи радиолокационных и метеорологических параметров используется уравнение радиолокации, позволяющее при известных энергетических параметрах РЛС определить радиометеорологические характеристики опасных атмосферных образований. Уравнение получено при условии однократного рассеяния и взаимной независимости рассеяния частиц атмосферного образования друг от друга [2].

Информационный эхо-сигнал представляет собой отраженный опасным атмосферным объектом сигнал, прошедший весь радиолокационный канал, объединяющий судовую РЛС, атмосферный объект и трассу распространения сигнала. В данном случае трасса распространения и атмосферный объект, для судовой РЛС, составляют внешнюю среду, а основная задача для РЛС соответствует совершенствованию дополнительной функции получения радиолокационной информации об опасном метеообъекте на пути судна. Одним из признаков различия в параметрах эхо-сигнала судовой РЛС, характеризующих атмосферное образование, является удлинение сигнала при различии в протяженности атмосферного объекта по сравнению с другими объектами, находящимися на земной поверхности.

Будем использовать наиболее распространенный байесовский подход с выбором гипотезы о принадлежности метеообъекта к одному из классов (кучево-дождевые или кучево-грозовые облака) при вычислении их логарифмических нормальных законов распределения радиолокационной отражаемости.

Применительно к индикаторам судовой РЛС с яркостной отметкой рассмотрим уравнения радиолокации навигационного объекта и атмосферного

образования. Мощность эхо-сигналов навигационного объекта определяется следующей зависимостью:

$$\bar{P}_{np.no} = \frac{P_u G^2 \lambda^2 \sigma_{no} K C_1}{(4\pi)^3 R^4}, \quad (1)$$

а соотношение мощности эхо-сигналов атмосферного образования имеет вид:

$$\bar{P}_{np.ao} = \frac{P_u G^2 \theta^2 c \tau_u \pi^3}{64 R^2 \lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 Z_{ao} K K_3 C_1 C_2, \quad (2)$$

где P_u - излучаемая мощность антенны судовой РЛС, Вт;

G - коэффициент усиления антенны;

λ - длина излучаемой волны, см;

θ - ширина диаграммы направленности антенны, град.;

c - скорость распространения электромагнитной волны, м/с;

τ_u - длительность излучаемых импульсов, с;

R - расстояние до объекта, км;

K - коэффициент ослабления электромагнитной энергии по трассе, дБ/км;

K_3 - коэффициент заполнения радиолокационного объема частицами облаков или осадков;

C_1 и C_2 - размерные коэффициенты;

m - комплексный показатель преломления вещества частицы атмосферного образования (вода, лед);

Z - радиолокационная отражаемость облаков и осадков, $мм^6 / м^3$.

В уравнениях (1) и (2) σ_{no} и Z_{ao} характеризуют отражающие поверхности навигационного объекта и опасного атмосферного образования, т.е.

$$\sigma_{no} = 4\pi R^2 \frac{E_{np}}{E_{изл}}, \quad (3)$$

где E_{np} - амплитуда электрического поля эхо-сигнала навигационного объекта у раскрытия приемной антенны судовой РЛС;

$E_{изл}$ - амплитуда зондирующего сигнала у поверхности навигационного объекта.

Радиолокационная отражаемость опасного метеообъекта, характеризующая отражающие свойства его объемно распределенных отражателей, имеющих сферическую форму, запишется в виде [2]:

$$Z_{ao} = \sum_{d_i} N(d_i) d_i^6 \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2, \quad (4)$$

где N - число частиц в отражаемом объеме, определенного диаметра d_i ;

m - комплексный показатель преломления вещества частицы атмосферного образования (вода, лед).

Зондирующий (излучаемый) сигнал в (1) и (2) представляет собой радиоимпульс длительностью τ_u одна или две микросекунды и более. При частоте повторения излучаемых импульсов F_n , равной 500 импульсов в

секунду, период излучаемого сигнала T равен двум миллисекундам. Тогда длительность промежутка τ_n между излучаемыми импульсами равна:

$$\tau_n = T - \tau_u = 1999 \text{ мкс} .$$

Малая длительность импульса способствует обнаружению малоразмерных навигационных объектов. Чем уже импульс, тем большая часть энергии облучает как навигационный объект, так и метеообразование.

Частота повторения излучаемых импульсов F_n выбирается из условия обеспечения максимальной дальности обнаружения опасного метеобъекта $R_{\text{макс}}$, т.е.

$$F_n \leq \frac{c}{2kR_{\text{макс}}} , \quad (5)$$

где k - коэффициент запаса по периоду повторения.

Отраженный от объекта информационный сигнал представляет собой электромагнитное колебание, заполняющее весь промежуток τ_n и прошедший весь радиолокационный канал. Информационный входной эхо-сигнал зависит от характеристик метеобъекта, параметров радиолокационного канала и облучаемого метеобъект сигнала, характеристик приемного устройства судовой РЛС.

Для радиометеорологической классификации метеобразований используется различие в удлинении эхо-сигнала, соответствующее определенной протяженности для данного вида опасного атмосферного явления. Судовой радиолокатор использует информативные параметры эхо-сигнала, которые соответствуют определенным радиометеорологическим характеристикам метеобъектов. Удлинение эхо-сигнала позволяет определить размеры кучево-дождевых облаков систем и зон ливневых осадков в радиальном направлении.

Вид отметки эхо-сигнала на индикаторе судовой РЛС или дисплее компьютера позволяет определить не только тип кучево-дождевых облаков в мезоциклоне, но и опасные явления, возникающие при их развитии. Вертикальный профиль радиолокационной отражаемости присущ индивидуально каждому типу опасного метеообразования и является достаточно информативным признаком радиолокационного распознавания и прогноза опасных явлений, связанных с мезоциклонами, т.к. измеренная радиолокационная отражаемость через определенные интервалы времени характеризует тенденцию развития опасного метеобъекта.

Так как судовые РЛС работают на двух длинах волн $\lambda_1 = 3 \text{ см}$ и $\lambda_2 = 10 \text{ см}$, то возникает необходимость в исследовании соотношения между интенсивностями эхо-сигнала одного и того же метеорологического образования на двух длинах волн, через их потенциалы в уравнениях радиолокации (2), которые записываются, с учетом шумов приемного устройства P_u , в следующем виде:

$$\frac{\left(\frac{P_{np}}{P_u}\right)_{\lambda_2}}{\left(\frac{P_{np}}{P_u}\right)_{\lambda_1}} = \frac{\Pi_{\lambda_2}}{\Pi_{\lambda_1}}, \quad (6)$$

где

$$\Pi_{\lambda_1} = \frac{P_u G^2 \theta^2 c \tau_u \pi^3}{64 P_u \lambda_1^4}, \quad (7)$$

$$\Pi_{\lambda_2} = \frac{P_u G^2 \theta^2 c \tau_u \pi^3}{64 P_u \lambda_2^4}. \quad (8)$$

Аналогично соотношение между радиолокационной отражаемостью и интенсивностью эхо-сигналов на двух длинах волн запишется в виде:

$$\frac{\left(\frac{P_{np}}{P_u}\right)_{\lambda_1}}{\left(\frac{P_{np}}{P_u}\right)_{\lambda_2}} = \frac{Z_{\lambda_2}}{Z_{\lambda_1}}. \quad (9)$$

Тогда с учетом (7) и (8) вертикальные профили радиолокационной отражаемости для последующего метеорологического анализа будут иметь следующее соотношение:

$$\frac{\left(\frac{P_{np}}{P_u}\right)_{\lambda_2}}{\left(\frac{P_{np}}{P_u}\right)_{\lambda_1}} = \frac{\frac{1}{\Pi_{\lambda_2}} \left(\frac{P_{np}}{P_u}\right)_{\lambda_2} R^2}{\frac{1}{\Pi_{\lambda_1}} \left(\frac{P_{np}}{P_u}\right)_{\lambda_1} R^2}. \quad (10)$$

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Показана возможность использования уравнения радиолокации для двух диапазонов длин волн, на которых работают судовые РЛС для повышения их информативности при обнаружении и радиолокационном прогнозе опасных атмосферных явлений. Дальнейшие исследования по рассмотренному направлению позволят дистанционным радиолокационным методом получить сведения о ситуационном состоянии атмосферной среды на пути судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии / В.Д. Степаненко. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 350 с.
2. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 511 с.
3. Рыжков А.В. Характеристики метеорологических РЛС / А.В. Рыжков // «Зарубежная радиоэлектроника», 1993. - № 4. - С.29-34.

4. Кольер К.Г. Создание сети метеорологических радиолокаторов в Европе – проект COST-73 Комиссии европейского сообщества. – Бюллетень ВМО, 1991. – т. 40. – № 4. – с. 445–451.
5. Принципы построения автоматизированных систем метеорологического обеспечения авиации / Под ред. Г. Г. Щукина Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 371 с.
6. Билетов М.В. Радиолокационное распознавание кучево-дождевых облаков, адаптивное к условиям их образования. В кн.: Радиолокационная метеорология / М. В. Билетов, Г. Б. Брылев, С. В. Соломатин. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. С. 68— 81.