

УДК 621.396.9.001.61

В.В. ПЕЧЕНИН, А.И. КРАВЧЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ СЛУЖБ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ

Обоснована необходимость разработки методологических основ метрологической аттестации радиолокационных средств информационной поддержки служб регулирования движения судов. Разработаны метрологические основы экспериментального определения интегральных погрешностей радиолокационных средств определения местоположения и параметров движения морских судов. Разработана практическая методика метрологической аттестации радиолокационных средств и приведены основные аналитические соотношения оценки координат и погрешностей аттестации. Представленная методика отработана на реальных метрологических поверках.

Ключевые слова: метрологическая аттестация, судно, радиолокационный, спутниковый измеритель, координаты, геометрический центр, цензурирование, дальность, азимут, статистическая обработка, координаты, погрешность.

Введение

При осуществлении организационно-технических мероприятий информационной поддержки службами регулирования движения морских судов в прибрежных морских регионах Украины основной первичной информацией, существенно влияющей на своевременность и адекватность управленческих решений, являются радиолокационные данные о местоположении и параметрах движения судов – участников движения.

Основным источником необходимой для регулирования информации являются береговые радиолокационные станции (БРЛС), являющиеся «датчиками» автоматизированных радиотехнических систем (АРТС), вычисляющих необходимые оценки местоположения и параметров движения морских судов, нуждающихся в информационной поддержке служб регулирования движением.

Поэтому сами информационные оценки получаемые с помощью АРТС нуждаются в тщательных метрологических поверках.

Среди относительных радиолокационных измерений наибольший практический интерес вызывает текущая оценка бокового отклонения судна от продольной оси линии движения (морского фарватера, центра морского канала и т.п.).

Такие относительные оценки являются производными от абсолютных и погрешность оценки абсолютных координат непосредственно определяет погрешности относительных радиолокационных измерений.

Существуют и другие подходы к метрологической аттестации.

Постановка задачи аттестации радиолокационных средств измерения местоположения и параметров движения морского судна

При использовании радиолокационных данных в процедуре информационной поддержки движения судопотока оценки текущего бокового отклонения судна являются важнейшими для принятия адекватных управленческих решений, как службами регулирования, так и судоводителями. Поэтому заказчики и пользователи радиолокационной информации ставят требование осуществления ее метрологической поверки.

Основная цель метрологической поверки радиолокационной информации состоит в проверке соответствия погрешностей определения абсолютных координат судна и отклонения траектории его движения от продольной оси фарватера официально декларируемым для данного радиотехнического средства (БРЛС, АРТС).

В связи с вышеизложенным, разработка соответствующего методического обеспечения для выполнения указанных метрологических поверок является важной и актуальной задачей.

Метрологические основы экспериментального определения интегральных погрешностей радиолокационных средств определения местоположения и параметров движения судов.

Разработанные ниже метрологические основы относятся к разряду частных метрологических поверок. Это обусловлено рядом специфических ограничений, связанных с особенностями функционирования БРЛС. Перечислим некоторые из них:

- большие площади рабочих зон БРЛС, не всегда доступные свободно прибрежные акватории;
- локальные географические особенности взаимного расположения БРЛС и фарватеров;
- разнообразие и стихийные особенности влияния метеорологических факторов;
- особенности рассеяния радиолокационных сигналов сложными по геометрической конфигурации морскими судами;
- малые углы зондирования объектов по отношению к взволнованной морской поверхности;
- особенности алгоритмов приема и обработки радиолокационных сигналов, обусловленные нестационарностью пассивных помех.

Имеются и другие дополнительные осложнения [1-3].

Указанное разнообразие факторов влияния делает невозможным получение адекватных оценок погрешностей радиолокационных измерений аналитическими методами, поэтому можно вести речь только о методике, которая основывается на получении и анализе результатов комплексных натурных испытаний. Обычно такие методики используют метод сравнения [4, 5] результатов измерений реально функционирующим радиолокационным оборудованием с независимыми эталонными, обладающими существенно лучшей точностью.

В настоящее время в качестве эталонных измерительных приборов можно использовать радионавигационные спутниковые измерители дифференциального типа [6], устанавливаемые на борту тестового морского судна, которое движется заведомо обусловленным маршрутом в рабочей зоне радиолокационного измерителя (БРЛС).

При этом эталонный измеритель, антенна которого располагается в точке фиксации координат его геометрического центра, измеряет координаты геометрического центра в геоцентрической системе координат, а БРЛС фиксирует радиолокационные координаты в местной координатной системе (азимут – дальность).

Далее выполняется автоматическая обработка радиолокационных сигналов и фиксируются координаты того же геометрического центра с учетом того, что БРЛС определяет статистический центр отражения, координаты которого «блуждают» по отношению к координатам геометрического центра. После окончания радиоизмерений выполняется совместная обработка координатных измерений БРЛС и эталонного измерителя.

Практическая методика аттестации

Описанная ниже практическая методика аттестации выполняется в четыре основных этапа.

1. Подготовительный этап состоит в выборе измерительных отрезков типовых маршрутов движения тестового морского судна с возможностью осуществления равномерного и прямолинейного движения в рабочей зоне БРЛС. Кроме того на этом этапе работ с помощью эталонного спутникового измерителя определяются координаты антенны БРЛС.

Эталонный спутниковый измеритель представляет собой спутниковый GPS-приемник геодезического класса, способный получать и обрабатывать информацию GNSS, определяя при этом координаты собственной антенны.

Перед началом работ эталонный измеритель устанавливается на тестовое судно и фиксируются отклонения координат местоположения антенны измерителя от продольной ΔL и поперечной ΔB геометрических осей тестового судна.

2. На втором этапе тестовое судно последовательно проходит всеми выбранными на первом этапе маршрутами в рабочей зоне БРЛС, придерживаясь равномерного и прямолинейного движения. При этом эталонный измеритель с темпом один раз в секунду фиксирует географические координаты антенны. Одновременно БРЛС фиксирует местоположение тестового судна один раз в 3÷4 с в единой с GPS-приемником временной шкале (обычно это сигналы единого времени, поступающие от GNSS).

3. На третьем этапе выполняется цензурирование радиолокационных данных и их специальное документирование. Для этого радиолокационные данные, зафиксированные на 2-м этапе, подвергаются в произвольном времени экспертному просмотру относительно траектории движения тестового судна с целью выявления достоверных данных и соответствующих им интервалов времени. При этом исключаются из дальнейшего анализа данные, полученные во время маневров тестового судна, а также данные, соответствующие участкам неуверенного сопровождения траектории тестового судна.

Одновременно осуществляется запись в файл вычисленных радиолокационных оценок полярных координат дальности $I_i(t_i, m)$ и азимута $\beta_i(t_i, m)$, отклонения судна от продольной оси фарватера $\Delta \alpha_i^c$, оценки курса судна $\theta_i(t_i, m)$ на моменты временной последовательности отметок времени t_i и условного ближайшего номера m измерительного отрезка фарватера.

4. На заключительном 4-ом этапе работ в автоматическом режиме выполняется статистическая обработка полученных метеорологических данных и документирование итоговых результатов по специально разработанной сервисной программе, выпол-

няющей взаимную обработку эталонных данных, полученных на 2-м этапе и радиолокационных данных, полученных на 3-м этапе.

Эта сервисная программа реализует приведение эталонных измерений к полярной системе координат, в которой представлены радиолокационные данные. Для этого вначале преобразуем координаты геометрического центра тестового судна в прямоугольную геодезическую систему координат, используя следующие соотношения:

$$X_i^c(t_i, m) = F_x[\alpha(t_i), \gamma(t_i)] - \Delta L \cdot \cos \theta_i - \Delta B \cdot \sin \theta_i,$$

$$Y_i^c(t_i, m) = F_y[\alpha(t_i), \gamma(t_i)] - \Delta L \cdot \sin \theta_i + \Delta B \cdot \cos \theta_i,$$

где $F_x(*)$, $F_y(*)$ - процедуры приведения географических координат $\alpha(t_i)$ - долготы и $\gamma(t_i)$ - широты на моменты t_i ; $\theta_i = \theta_i(t_i, m)$.

Далее, прямоугольные координаты $X_i^c(t_i, m)$, $Y_i^c(t_i, m)$ преобразуются в локальные полярные координаты по формулам:

$$I_i^c(t_i, m) = \frac{\sqrt{[X_i^c(t_i, m) - X_i^p(t_i, m)]^2 + [Y_i^c(t_i, m) - Y_i^p(t_i, m)]^2}}{1 + \Delta_j^p};$$

$$\beta_i^c = \left\{ \arctg \left[\frac{Y_i^c(t_i, m) - Y_i^p(t_i, m)}{X_i^c(t_i, m) - X_i^p(t_i, m)} \right] + \Delta_\beta^p \right\},$$

где Δ_j^p , Δ_β^p - поправки к дальности и азимуту, обусловленные кривизной земной поверхности в рабочей зоне БРЛС [5, 7];

$[X_i^p, Y_i^p]$ - прямоугольные геодезические координаты антенны БРЛС, определенные в [7].

Эталонная оценка бокового отклонения геометрического центра тестового судна от продольной оси m -го отрезка траектории определяется по формуле

$$\Delta r_i^c(t_i, m) = \frac{\left\{ [X_i^c(t_i, m) - x_1(m)] \cdot \operatorname{tg}(\phi_m) - [Y_i^c(t_i, m) - y_1(m)] \right\}}{\operatorname{sign} \left\{ [x_1(m) - X_0^p] \cdot \operatorname{tg}(\phi_m) - [y_1(m) - Y_0^p] \right\}} \times$$

$$\times \cos(\phi_m) \quad \text{при } x_1(m) \neq x_2(m),$$

$$\Delta r_i^c(t_i, m) =$$

$$= \left| X_i^c(t_i, m) - x_2(m) \right| \cdot \operatorname{sign} [y_1(m) - y_2(m)],$$

$$\text{если } x_1(m) = x_2(m),$$

где $[x_1(m), y_1(m)]$, $[x_2(m), y_2(m)]$ - координаты, соответственно начала и конца m -го отрезка в прямоугольной системе координат [7];

$\operatorname{sign}(*)$ - операция определения знака выражения в скобках;

$$\phi_m = \arctg \left[\frac{y_2(m) - y_1(m)}{x_2(m) - x_1(m)} \right].$$

Первой операцией собственно общей обработки данных является уточнение их взаимной временной синхронизации. Для этого используются сообща все метеорологические данные, что соответствуют ранее определенным кондиционным отрезкам времени.

Процедура уточняет оптимальный временной сдвиг Δt_{opt} между радиолокационными и эталонными данными.

В качестве критерия оптимальности избрано минимальное значение среднеквадратичного отклонения координат позиции судна от эталонных данных. В случае, если в указанном диапазоне возможных временных сдвигов минимальное значение критерия не определено, т.е. найденный минимум соответствует границе диапазона поиска, то диапазон автоматически расширяется в нужном направлении и процедура повторяется.

Дальше, с учетом принятого Δt_{opt} , независимо для каждого m -го измерительного отрезка, оцениваются абсолютные погрешности определения текущих координат и бокового отклонения судна от продольной оси фарватера по формуле

$$\Delta_z(m) = 3 \sqrt{\frac{[M_z(m)]^2}{3} + [\sigma_z(m)]^2},$$

где $M_z(m) = \frac{1}{N_m} \sum_{i=1}^{N_m} \Delta Z_{i,m}$ - математическое ожидание компонентов вектора погрешностей $\Delta Z_{i,m} \left\{ [I_i^p(t_i, m) - I_i^c(t_i, m)]; [\beta_i^p(t_i, m) - \beta_i^c(t_i, m)]; [\Delta r_i^p(t_i, m) - \Delta r_i^c(t_i, m)] \right\}$, соответствующее m -му измерительному отрезку фарватера;

$$\sigma_z(m) = \sqrt{\frac{1}{(N_m - 1)} \left\{ \sum_{i=1}^{N_m} [\Delta Z_{i,m} - M_z(m)]^2 \right\}} -$$

среднеквадратичное отклонение компонентов вектора погрешностей на том же измерительном отрезке;

N_m - количество независимых выборочных оценок m -го отрезка.

В заключение, полученные оценки абсолютных погрешностей местоположения и отклонения судна от оси фарватера сравниваются с априори определенными предельными значениями и в случае их не превышения радиолокационные средства признаются такими, что отвечают характеристикам точности, соответствующим заданным требованиям.

Заключення

Разработаны основы экспериментального определения интегральных погрешностей радиолокационных средств определения местоположения и параметров движения морских судов в прибрежных морских регионах, являющиеся основой метрологической аттестации точностных характеристик береговых радиолокационных станций и автоматизированных радиотехнических систем информационной поддержки движения судов в прибрежных морских регионах. Основой аттестации радиолокационных средств определения местоположения положен метод сравнения результатов радиолокационных измерений с эталонными спутниковыми измерениями.

Приведены основные аналитические соотношения сервисной программы совместной обработки радиолокационных и спутниковых измерений.

Представленная методика отработана на реальных метрологических поверках радиолокационных средств (АРТС) информационной поддержки служб регулирования в течение 8 лет во всех морских регионах Украины.

Литература

1. Штагер Е.А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы / Е.А. Штагер. – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с.
2. Fante R.L. Detection of Multiscatter Targets in K-Distributed Clutter / R.L.Fante // IEEE Trans. on Antennas and Propagat. – Dec., 1984. – V. AP-32, No 12. – P. 61- 64.
3. Красюк Н.П. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / Н.П. Красюк, В.Л. Коблов, В.Н. Красюк. – М.: Радио и связь, 1988. – 266 с.
4. Мирский Г.Я. Электронные измерения / Г.Я. Мирский. – М.: Радио и связь, 1986. – 440 с.
5. Закатов П.С. Курсы высшей геодезии / П.С. Закатов. – М.: Недра, 1976. – 504 с.
6. Кравченко О.І. Сучасні методи метрологічної перевірки радіолокаційних засобів регулювання руху суден / Сборник научн. трудов научн.-практ. конф. «Портові технологи і техніка мореплавання» (спец. вып.), 20-22 июня 2007г., г. Феодосія. – Одесса: ОНМА, 2007. – С. 162 – 170.
7. Справочник геодезиста / под ред. В.Д. Большакова и Г.П. Левчука // В двух книгах. Кн. 1. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 455 с.

Поступила в редакцию 1.03.2011

Рецензент: канд. техн. наук, проф., проф. кафедры производства радиоэлектронных систем летательных аппаратов Ю.Н. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЧНОЇ АТЕСТАЦІЇ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ СЛУЖБ РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ СУДЕН

В.В. Печенін, О.І. Кравченко

Обґрунтована необхідність розробки методологічних основ метрологічної атестації засобів радіолокації інформаційної підтримки служб регулювання руху судів. Розроблені метрологічні основи експериментального визначення інтегральних погрешностей засобів радіолокації визначення місця розташування і параметрів руху морських суден. Розроблена практична методика метрологічної атестації засобів радіолокації і приведені основні аналітичні співвідношення оцінки координат і погрешностей атестації. Представлена методика відпрацьована на реальних метрологічних перевірках.

Ключові слова: метрологічна атестація, судно, вимірник радіолокації, супутникового, координати, геометричний центр, цензурування, дальність, азимут, статистична обробка, координати, погрешність.

METHODOLOGICAL BASES OF METROLOGICAL CERTIFICATION OF RADAR-TRACKING MEANS OF INFORMATION SUPPORT OF SERVICES OF REGULATION OF DRIVING OF COURTS

V.V. Pechenin, A.I. Kravchenko

Necessity of development of methodological bases of metrological certification of radar-tracking means of information support of services of regulation of driving of courts is justified. Metrological bases of the experimental determination of integral errors of radar-tracking means of position fix and parameters of driving of sea-crafts are developed. The practical technique of metrological certification of radar-tracking means is developed and the main analytical ratios of an estimation of coordinates and certification errors are resulted. The presented technique is fulfilled on real metrological checkings.

Keywords: metrological certification, a vessel, a radar-tracking, satellite measuring instrument, coordinates, geometrical center, цензурирование, range, an azimuth, statistical handling, coordinates, an error.

Печенін Валерій Васильевич – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри радіоелектронних пристроїв, систем і комплексів Національного аэрокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків.

Кравченко Александр Иванович – канд. техн. наук, докторант кафедри радіоелектронних пристроїв, систем і комплексів Національного аэрокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків.