

УДК 623.765

О.В.Тихонова

## ОРГАНИЗАЦИЯ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ КОРАБЕЛЬНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОСВЕЩЕНИЯ ОБСТАНОВКИ

**Тихонова Ольга Вадимовна**, доктор технических наук, профессор кафедры радиоприемных устройств Московского государственного технического университета радиотехники, электроники и автоматики. Окончила механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. Последние публикации посвящены вопросам построения корабельных систем управления и математического моделирования радиотехнических корабельных систем. [e-mail: o\_tikhonova@inbox.ru].

## Аннотация

Рассматривается способ автоматизации работ по обеспечению согласованности выходных данных радиотехнических средств освещения внешней обстановки надводного корабля. Подтверждение точностных характеристик каждого средства и учет (алгоритмический или аппаратный) погрешностей их взаимной юстировки повышает вероятность правильного определения как числа средств воздушного нападения, так и их параметров движения при комплексированном использовании информации. Для системы противовоздушной обороны (ПВО) надводного корабля тем самым достигается увеличение эффективности отражения массированных налетов.

Ключевые слова: радиотехническая система, средства освещения внешней обстановки, противовоздушная оборона корабля, взаимная юстировка, автоматизация.

**Olga Vadimovna Tikhonova**, Doctor of Engineering; Professor at the Chair of Receivers of Moscow State Technical University of Radioengineering, Electronics and Automatics; graduated from the Faculty of Mechanics and Mathematics of Lomonosov Moscow State University; the latest publications are about design of ship's control systems and mathematical modeling of ship's radio systems. e-mail: o\_tikhonova@inbox.ru

## Abstract

The article deals with a way of automating works concerning consistency of output data of radio facilities for surveillance of external situation of surface ship. The confirmation of accuracy characteristics for each facility and accounting (by algorithm or by hardware) of errors of their mutual adjustment increase the probability of the correct definition of both number of air attack facilities and their motion parameters if interconnected information use. It contributes to more efficient measures against massive attack for air defense systems of surface ships.

Key words: radio engineering system, facilities for surveillance of external situation, ship's air defense, mutual adjustment, automation.

## ВВЕДЕНИЕ

Современный надводный корабль оснащен различными средствами освещения внешней обстановки - радиолокаторами кругового и секторного обзора, радиолокационными станциями (РЛС) сопровождения, навигационными РЛС, оптическими системами. Каждое отдельно взятое средство имеет существенные ограничения в своей работе - это различного рода помехи как естественного, так и искусственного происхождения, в области действия которых радиотехнические средства бессильны, а также технические ограничения по зоне действия, и поэтому получить объективную полную картину внешней надводной и воздушной обстановки по данным отдельного средства затруднительно. Совместное использование данных, получаемых от корабельных информационных средств, значительно повышает достоверность представлений о том, что же происходит вокруг надводного корабля.

Для комплексирования информации от нескольких средств освещения обстановки в рамках как одного корабля, так и группы кораблей, требуется постоянно обеспечивать согласование их выходных данных и оперативно получать оценки их потенциальных и точностных характеристик. Особенно это важно при проведении работ в сложных внешних условиях, например, при высоких или низких температурах, значительных качках. Проводить в настоящее время в ручном режиме юстировку корабельных средств возможно лишь при плановых профилактических работах корабля, что не обеспечивает постоянного характера контроля. Автоматизация комплексной юстировки радиотехнических информационных корабельных средств и подтверждения (или корректировки) точностных характеристик позволяет проводить эти работы непосредственно в процессе выполнения кораблем боевой задачи.

**КОМПЛЕКТОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ КОРАБЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПВО**

Основными критериями эффективности корабельной системы ПВО являются численные характеристики, определяющие число пораженных целей при отражении налетов средств воздушного нападения или вероятность поражения каждой цели налета, а также число использованных при этом информационных, огневых и радиоэлектронных ресурсов. При известных характеристиках вероятности поражения одной цели одним огневым средством (ОС) одним залпом  $p_u$  (где индекс  $I$  от 1 до  $I_{MAX}$  определяет номер цели, а индекс  $J$  - номер ОС (от 1 до  $J_{MAX}$ )) и определяемым системой управления ПВО числом залпов  $n_u$   $J$ -го средства по  $I$ -й цели суммарная вероятность поражения  $I$ -й цели налета есть [1]:

$$p_I = 1 - \prod_{j=1}^{J_{MAX}} (1 - p_{IJ})^{n_{IJ}}, I = 1, \dots, I_{MAX}. \quad (1)$$

При этом имеются ограничения на боезапас  $BZ_{Qc}$ :

$$Y_{n_u} < BZ_{J,J} = 1, \dots, J_{MAX}. \quad (2)$$

В системе ПВО данные от оптических, радиолокационных и радиоэлектронных средств освещения внешней обстановки комплексированы в данные единого информационного пространства [2]. При организации совместной обработки данных от нескольких информационных средств, исследующих одну и ту же область пространства, необходимо учитывать вероятности возникновения ошибок отождествления первого рода  $s_1$  (ложное отождествление двух различных целей как одной) и второго рода  $s_2$  (распознавание одной цели, видимой двумя источниками информации, как двух). В идеальном случае эти вероятности равны нулю, однако на практике создать такие алгоритмы отождествления возможно лишь при работе информационных средств в отсутствии погрешностей измерения. Отметим, что  $s_1, s_2$  есть вероятности события, и поэтому их значения лежат в интервале от 0 до 1. Определение параметров движения обнаруженных объектов всегда производится с ошибками:

$$\vec{X}_{изм} = \vec{X}_{ист} + \delta \vec{X}, \quad (3)$$

где  $\vec{X}_{ист}$ ,  $\vec{X}_{ист}$  - обобщенные векторы измеренных и истинных координат объекта,

$\delta \vec{X}$  - вектор ошибок измерения.

Именно наличие шумовой составляющей  $\delta \vec{X}$  в координатах целей на выходе источников информации приводит к ненулевым  $s_1$  и  $s_2$ . При уменьшении  $s_1$  увеличивается  $s_2$ , и наоборот, то есть существует жесткая зависимость, определяющая возможный диапазон изменения пары  $(s_1, s_2)$ . Очевидно, что эффективность системы ПВО напрямую зависит от значений величин  $s_1$  и  $s_2$ , и формулы (1) и (2) преобразуются:

$$a = (I - j) \left( \begin{matrix} J_{MAX} \\ i - p a - A, \\ J=1 \end{matrix} \right)^{(1+i) \cdot n_u}, \quad (4)$$

$$I = 1, \dots, I_{MAX}$$

При этом ограничения на боезапас ОС также изменяются:

$$\sum_{j=1}^{J_{MAX}} (1 + j) \cdot n_{IJ} \leq BZ_j, J = 1, \dots, J_{MAX}.$$

Вопрос о минимизации значений пары  $(s_1, s_2)$ , таким образом, существенно влияет на эффективность корабельной ПВО, что возможно при уменьшении уровня ошибок  $\delta \vec{X}$  в (3) для информационных средств.

Алгоритмы совместной обработки данных и формирования единого информационного пространства заключаются в сравнении значений обобщенных параметров целей, получаемых от различных источников информации в соответствии с многомерными критериями. Превышение полученных значений критерия над некоторым наперед заданным порогом сигнализирует о том, что наблюдаемые объекты различны. В простейшем случае для двух источников информации ( $ИИ=1$  и  $ИИ=2$ ), каждый из которых видит одну цель, число идентифицируемых целей  $N$  есть

$$N = \begin{cases} 2, & \text{если } p = \left\| \bar{X}_{ИИ=1} - \bar{X}_{ИИ=2} \right\| > X_{POROG} \\ 1, & \text{если } p = \left\| \bar{X}_{ИИ=1} - \bar{X}_{ИИ=2} \right\| \leq X_{POROG} \end{cases} \quad (5)$$

Корректность выбора  $X_{POROG}$  определяет  $s_1$  и  $s_2$ . Учитывая (3), получаем

$$p = \left\| \vec{X}_{ист1} + \delta \vec{X} - \vec{X}_{ист2} - \delta \vec{X} \right\|, \quad (6)$$

и уменьшение ошибок  $\delta \vec{X}$  приводит к более точному определению порогового значения  $X_{POROG}$ . В состав ошибок входят случайные флуктуации и систематические составляющие. Особую роль здесь играют ошибки юстировки, то есть систематические ошибки, вызываемые отклонением оси антенны от заданного направления, часто увеличивающиеся с течением времени. При наличии разнонаправленных ошибок юстировки в двух источниках в  $ИИ=1$  и  $ИИ=2$  величины ОЛ и оЛ складываются, что приводит к ошибочной работе алгоритма, основанного на выражении (5). Возможность исключить или минимизировать систематические ошибки приводит к увеличению вероятности правильной работы (5) и, следовательно, к значительному уменьшению пары  $(s_1, s_2)$ , что в соответствии с (4) увеличивает эффективность контура ПВО корабля.

**КОМПЛЕКС НАД ЮСТИРОВКА ИНФОРМАЦИОННЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ И ПРОВЕРКА ИХ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

В состав корабельной системы ПВО входят разнородные средства освещения внешней обстановки. Выходная информация этих средств представлена в виде нумерованных списков объектов внешней обстановки с указанием их координат в земной корабельной системе

координат (сферической или декартовой), а при наличии информации и составляющих скорости. Перевод координат из декартовой системы в сферическую производится по формулам:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}, \\ P &= \text{Arctg}(Z, X), \\ YM &= \text{Arcsin}(Z / D). \end{aligned} \quad (7)$$

В (7) через  $X, Y, Z$  обозначены декартовы, а через  $D, P, YM$  - сферические координаты объекта. Через  $\text{Arctg}(\ )$  обозначен круговой арктангенс. Обратное преобразование есть

$$\begin{aligned} X &= D \cos(YM)\cos(P), \\ Y &= D\sin(YM), \\ Z &= D\cos(YM)\sin(P). \end{aligned} \quad (8)$$

Выражения (7) и (8) применимы также для составляющих скорости.

Измерение координат объекта радиолокационными и оптическими способами тем не менее ведется в сферической системе координат, связанной с устройством измерения, и поэтому возникающие ошибки измерения по дальности, скорости и углам - это погрешности определения  $D, P, YM$  и радиальной скорости  $V^D$ :

$$\begin{aligned} \Delta D_{\text{изм}} &= \Delta D_{\text{ист}} + b\Delta D, \\ \Delta P_{\text{юм}} &= \Delta P_{\text{ист}} + \delta P, \\ \Delta YM_{\text{изм}} &= \Delta YM_{\text{ист}} + b\Delta YM, \\ \Delta V_{\text{юм}}^D &= \Delta V_{\text{ист}}^D + b\Delta V^D. \end{aligned} \quad (9)$$

В (9) индекс «ИЗМ» означает измеренные, а индекс «ИСТ» - истинные координаты объекта, через  $b$  обозначены соответствующие погрешности.

При наличии регулярных составляющих в погрешностях измерения необходимо их выявить и устранить, что эквивалентно аффинному преобразованию системы координат, связанной с устройством измерения. Представляя любое аффинное преобразование координат как поворот на три угла Эйлера  $\phi, \theta, \psi$  и смещение точки начала координат на вектор  $AX, AY, AZ$ , при наличии измерений трех объектов, не расположенных на одной прямой, возможно получить значения неизвестных  $\phi, \theta, \psi, AX, AY, AZ$  по известным  $D, P, YM, i = 1, 2, 3$ . Для соответствующих вычислений можно использовать стандартные математические пакеты, например MatLab.

Для упрощения задачи рассмотрим отдельно ошибки измерений по дальности и по углам. Для определения регулярных составляющих ошибок сопровождения по дальности можно измерить расстояния до объекта измерения двумя средствами измерения, и найти величину этого рассогласования. Тогда в картинной плоскости системы координат визирования цели по известным координатам двух объектов  $Y, Z$ , однозначно определяются поворот картинной плоскости  $\psi$  и смещение начала координат  $AY, AZ$ . Здесь также необходимо применить стандартные вычисления.

Регулярные составляющие ошибок по скорости также возможно получить при измерении скоростей одного объекта двумя различными средствами измерения.

При проведении измерений наряду с систематическими присутствуют и случайные ошибки измерений, для определения уровня которых следует использовать представительную выборку и обработать полученные результаты статистическими методами. Полученные данные об уровнях погрешностей выработки координат и скоростей цели каждым отдельным средством позволяют либо подтвердить разумность выбора значений  $h_{\text{ПОРОГ}}$  в формуле (5) для каждой координаты, либо при необходимости провести корректировку этих коэффициентов.

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТ

Для проведения комплексной юстировки информационных корабельных средств и проверки их точностных характеристик используется мобильная береговая система обслуживания и диагностики (рис. 1), в состав которой входят:

- автоматизированное рабочее место (АРМ) береговых средств для формирования необходимых сигналов имитаторов;
- универсальный имитатор перспективных малоразмерных скоростных низколетящих целей, обеспечивающий имитацию отраженного радиолокационного сигнала, аналогичного сигналу, отраженному от реальной малоразмерной скоростной низколетящей цели с возможностью варьирования ее эффективной поверхности рассеяния (минимально три изделия);
- имитатор шумового сигнала малоразмерной цели, обеспечивающий имитацию активного сигнала, аналогичного сигналу реальной цели, для пеленгования пассивными радиолокационными средствами, работающими в различных диапазонах (минимально три изделия);
- имитатор оптического сигнала малоразмерной цели, обеспечивающий имитацию оптического сигнала, аналогичного сигналу реальной цели, для пеленгования оптическими средствами (минимально три изделия). Один универсальный имитатор целей, один имитатор шумового сигнала и один имитатор оптического сигнала образуют единую конструкцию - универсальный имитатор цели - сопряженный с АРМ береговых средств (длина линий связи не менее 50 м);
- аппаратура обеспечения передачи данных от средств ПВО корабля на АРМ береговых средств.

В состав мобильной береговой системы обслуживания и диагностики также входит расположенный на корабле АРМ корабельной части, предназначенный для обработки информации и управления работами по совместным юстировкам.

Для проведения комплексной юстировки информационных корабельных средств и проверки точностных характеристик средств освещения обстановки корабельной системы ПВО необходимо последовательно провести следующие действия:

- развернуть мобильную береговую систему обслуживания и диагностики, для чего выставить три универсальных имитатора цели, расстояние между первым и



Рис. 1. Взаимодействие мобильной береговой системы обслуживания и диагностики с корабельными средствами освещения обстановки

вторым - 50 м, третий расположить на высоте не менее 20 м и расстоянии 20 м от первого;

- расположить корабль на расстоянии 2-3 км от береговых средств, причем направление движения корабля и направление линии корабль-береговые средства должно быть около 90°;

- передать на АРМ береговых средств необходимые для имитации данные;

- провести одновременные измерения координат имитаторов всеми средствами освещения обстановки с интервалом в 1-5 минут при изменении курса корабля;

- передать измеренные данные на АРМ корабельной части для обработки информации и получения поправочных данных для каждого средства;

- получить поправочные данные для каждого средства как средние от поправок, полученных для каждого цикла измерений. При получении поправок в качестве базового средства принимается наиболее точная система освещения внешней обстановки и относительно нее вводятся юстировочные поправки остальных средств;

- передать поправочные коэффициенты на средства освещения внешней обстановки и реализовать их;

- провести повторный цикл комплексной юстировки информационных корабельных средств и проверки их точностных характеристик и убедиться в отсутствии ошибок юстировки отдельных средств. При наличии ошибок пересчитать поправочные коэффициенты и ввести их в средства освещения обстановки;

- повторить цикл комплексной юстировки информационных корабельных средств и проверки их точностных характеристик при нахождении корабля на расстоянии

5 км от береговых средств.

Наличие в составе мобильных береговой системы обслуживания и диагностики АРМ береговых средств и АРМ корабельной части, соединенных беспроводной широкополосной связью, и разработанное специализированное программное обеспечение АРМ позволяет автоматизировать комплексную юстировку и проверку точностных характеристик средств освещения внешней обстановки: после развертывания мобильной береговой системы и установления бесперебойной связи корабельного АРМ с береговым АРМ достаточно дать команду на начало работ, и весь цикл действий далее будет проведен в автоматизированном режиме, причем вмешательство оператора необходимо лишь при возникновении нештатных ситуаций.

Рассмотренный выше порядок работ применим при проведении плановых профилактических работ или при нахождении корабля в непосредственной близости от берега

(при условии, что на берег возможно доставить мобильную систему обслуживания и диагностики). Однако при длительном нахождении корабля вдали от базы комплексная юстировка информационных корабельных средств и проверка их точностных характеристик может проводиться автономно. При этом в качестве объектов измерения выступают не универсальные имитаторы цели, а реальные цели в зоне видимости корабля, которые обнаруживаются информационными средствами в процессе выполнения боевой задачи. Выбираемая в качестве объекта измерений реальная цель должна быть хорошо различима всеми корабельными средствами освещения обстановки и для повышения точности выработки юстировочных поправок маломаневрирующая. Порядок автономной комплексной юстировки информационных корабельных средств и проверки их точностных характеристик следующий:

- провести одновременные измерения координат видимых объектов всеми средствами освещения обстановки;

- передать измеренные данные на АРМ корабельной части для обработки информации и получения поправочных данных для каждого средства;

- получить поправочные данные для каждого средства. При получении поправок в качестве базового средства принимается наиболее точная система освещения внешней обстановки и относительно нее вводятся юстировочные поправки остальных средств;

- передать поправочные коэффициенты на средства освещения внешней обстановки и реализовать их;

- при появлении новой цели в зоне видимости корабля провести повторный цикл комплексной юстиров-

ки информационных корабельных средств и проверки их точностных характеристик и убедиться в отсутствии ошибок юстировки отдельных средств. При наличии ошибок пересчитать поправочные коэффициенты и ввести их в средства освещения обстановки.

Эти работы также проводятся в автоматизированном режиме, обеспечиваемом АРМ корабельной части с соответствующим программным обеспечением.

В отличие от юстировочных работ, проводимых с использованием мобильной береговой системы обслуживания и диагностики, точность юстировочных работ в автономном режиме может быть ниже, и для получения достоверных данных необходимо провести измерения значительного числа реальных объектов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизация комплексной юстировки радиотехнических корабельных средств освещения обстановки и проверки их точностных характеристик, проводимая как с использованием мобильной береговой системы обслу-

живания и диагностики, так и автономно, позволяет повысить достоверность информации об окружающих корабль объектах и тем самым повысить эффективность выполнения кораблем боевых задач. Аналогичная автоматизированная система может применяться к радиотехническим средствам группы кораблей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонова О.В. Многоуровневое распределение ресурсов для решения задачи ПВО - от ЗРК до оперативного соединения // Матер. межотрасл. науч.-техн. конф. по актуальным вопросам военного кораблестроения «ВОКОР-2000». - СПб., 2000. - С. 16-17.
2. Линьков В.П., Тихонова О.В. Концепция разработки многофункциональной системы ПВО ВМФ, обеспечивающей централизованное управление ЗУР для защиты надводных кораблей // Радиолокационные системы специального и гражданского назначения 2010-2012. - М. : Радиотехника, 2011. - С. 27-33.