Пятаков Э.Н.

ОСНОВЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ И СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

Издание второе дополненное

Под общей редакцией Пятакова В.Э.

Стереотипное издание

Херсон
Гринь Д.С.
2017

УДК 528. 9
ББК 39. 471
П 992

Копирование, сканирование, запись на электронные носители и тому подобное, книги в целом или любой её части запрещено

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины
Как учебное пособие для студентов высших учебных заведений
(лист № 1/11-6768 от 18.05.2013 года)

Рецензенты:

Цымбал Н.Н. – доктор технических наук, профессор
Плющ О.В. – капитан дальнего плавания

Пятаков Э.Н.
П 992 Основы радиолокационной и спутниковой навигации (издание 2 дополненное): учебное пособие / [Э.Н. Пятаков] под. общ. ред. В.Э. Пятакова. – Стереотип. изд. – Херсон: Гринь Д.С., 2017 – 226 с.

ISBN 978-617-7123-51-3

ISBN 978-617-7123-51-3

©Пятаков Э.Н., Пятаков В.Э., 2017

Сокращения, принятые в тексте

М – метр
мин – минута
МС – место судна
ОЛИД – ожидаемая линия истинного движения
РЛ – радиолокационный
уз – узел
ч – час
Кн – истинный курс судна – наблюдателя (нашего судна)
Кц – истинный курс судна – цели
Ко – относительный курс судна – цели
Vн – истинная скорость судна – наблюдателя (нашего судна)
Vц – истинная скорость судна – цели
Vo – относительная скорость судна – цели
Vп скорость полного хода
Vt – текущее значение скорости
Vср – средняя скорость нашего судна от точки начала маневра до точки кратчайшего сближения
Sн – плавание нашего судна
Sц – плавание судна – цели
So – относительное перемещение судна – цели
Sп – длина тормозного пути при скорости полного хода
Sv – длина тормозного пути при скорости V
D – дистанция до объекта наблюдения
Dкр – дистанция кратчайшего сближения судов
Dпер – дистанция, на которой другое судно пересекает курс судна – наблюдателя
Dм – дистанция, на которой начинается маневр
Dзад – заданная дистанция кратчайшего сближения
T – судовое время наблюдений
Tкр – судовое время сближения на кратчайшее расстояние
Tпер – судовое время пересечения другим судном курса судна – наблюдателя
Tм – судовое время начала маневра
t – время плавания на каком – либо участке пути
t кр – промежуток времени от момента начала маневра до момента сближения на кратчайшее расстояние
t м – время до начала маневра
t v – инерционная характеристика судна
q (КУ) – курсовой угол
Rц – радиус циркуляции
r – ракурс судна – цели
T_{180} – время поворота на 180°
ЛИД – линия истинного движения
ЛОД – линия относительного движения
ОЛОД – ожидаемая линия относительного движения
П – пеленг
САРП – средство автоматической радиолокационной прокладки
COG – course over ground
CMG – course made good
ECDIS – Electronic chart display and information system
ENC – Electronic Navigation chart
ERBL – Electronic Range and Bearing Line
ETA – Estimated Time of arrival
ETD – Estimated Time of departure
GMT – Greenwich mean Time
GPS – Global positioning System
HDG – heading
NS – Navi – Sailor
PS – positioning system
SOG – Speed over Ground
SMG – Speed Made Good
XTE – Cross Track Error
WP – Way Point
ДБК – дуга большого круга

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для слушателей курсов повышения квалификации и курсантов судоводительских отделений учебных заведений морского транспорта.

Статистика аварийности на морском транспорте убедительно свидетельствует об усилении роли “человеческого фактора” при решении вопросов расхождения в сложных навигационных условиях.

Скурпулезный анализ навигационных происшествий и аварий показал, что чаще причиной аварийности является не безответственное отношение судоводителей к своим обязанностям, а неумение правильно оценить обстановку в условиях ограниченного пространства и времени. Не секрет, что иногда для принятия правильного решения остаются считанные минуты, тогда как необходимо перебрать сотни возможных вариантов для нахождения единственно правильного. Учитывая стремительный рост мирового торгового флота как по тоннажу так и по количеству, возрастает и вероятность аварийных случаев. В связи с этим, современные суда оборудуются сложными радионавигационными системами и комплексами, с помощью которых решаются многие вопросы безопасности и связи.

Однако, даже самым современным средствам судовождения необходимо время для набора информации и решения задачи. Поэтому в аварийной ситуации судоводителю приходится принимать решение, на основе собственного опыта и интуиции. Опыт набирается годами, а интуиция относится к врожденным особенностям человека. В связи с этим встал вопрос о новых формах подготовки судоводительского состава судов морского флота. Особое место среди новых форм обучения и наработки практических навыков занимают подготовки с использованием симуляторов.

В настоящее время существует целый ряд фирм – изготовителей тренажеров, предназначенных для сертификационного обучения по следующим учебным программам в соответствии с Международной Конвенцией ПДНВ – 78, с поправками:

– Модельный курс 7.01
– Модельный курс 7.03
– Организация мостика.

Задача тренажерной подготовки заключается в том, чтобы выполнить требования ММО к подготовке на симуляторах. Решение этой задачи возможно только в том случае если обучающийся имеет определенный комплекс знаний и хорошо ориентируется в вопросах навигации, радиолокации и маневрирования. Все эти вопросы в сжатом виде излагаются в предлагаемом читателю учебнике “Основы радиолокационной и спутниковой навигации”.

Учебное пособие предназначено для слушателей курсов повышения квалификации и курсантов судоводительских отделений учебных заведений морского транспорта.

Учебник состоит из 5 разделов, которые, практически, охватывают весь курс тренажерной подготовки по маневрированию судов, управлению судами в различных условиях плавания и навигации с использованием современных технических средств.

РАЗДЕЛ 1

СУДОВЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ.

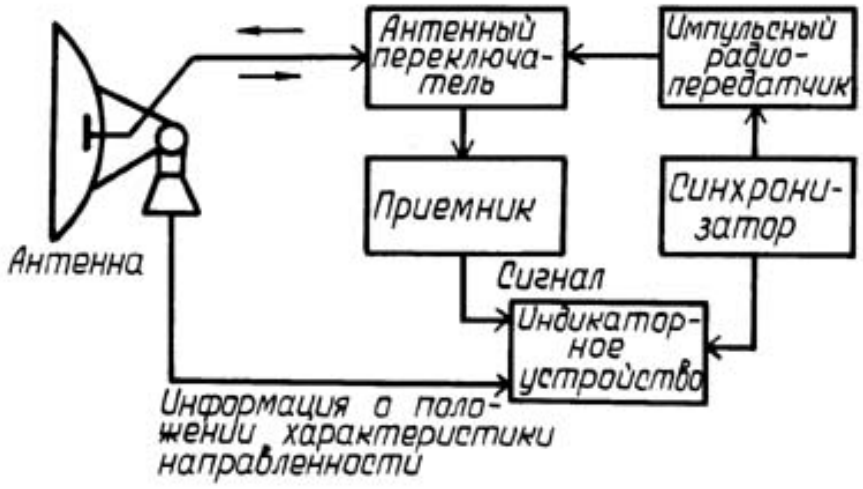
ГЛАВА: 1.1. ТЕОРИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ РАДИОЛОКАТОРОВ.

1.1.1. Принцип действия судовой РЛС.

Радиолокационной станцией или радиолокатором, называется устройство, предназначенное для обнаружения объектов и определения их координат с помощью радиоволн, отражающихся от этих объектов.

Общее представление о работе импульсной РЛС и взаимодействии отдельных ее блоков можно получить при рассмотрении структурной схемы (рис. 1.1).

а)



Синхронизатор периодически запускает передатчик и одновременно с ним – индикатор. Мощный кратковременный импульс высокочастотных колебаний, вырабатываемый передатчиком, поступает в антенну и излучается ею в заданном направлении в виде узкого луча. После отражения от объекта слабый высокочастотный импульс возвращается к антенне и подается на вход приемника (при излучении импульса приемник находится в запертом состоянии).

б)

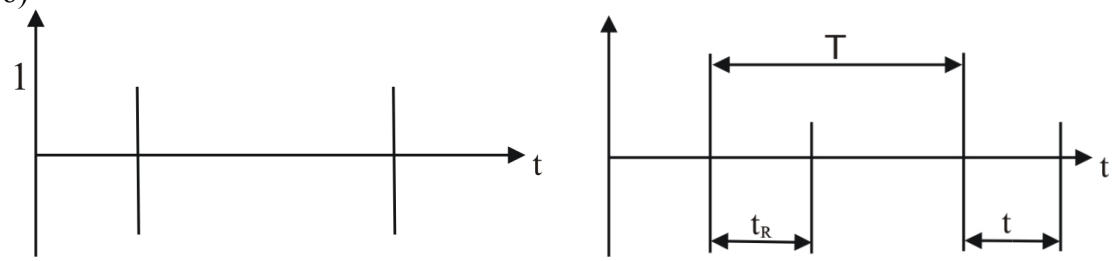


Рис. 1.1 Принцип действия РЛС
а) – структурная схема; б) – временная диаграмма.

Для упрощения конструкции РЛС одну и ту же антенну используют как для излучения, так и для приема. Подключение антенны к передатчику или приемнику производят с помо-

щью антенного переключателя. После усиления в приемнике импульс детектируется и поступает на индикатор. Так как начало работы индикатора совпадает с моментом излучения импульса по направлению к объекту, то, зафиксировав по индикатору момент прихода отраженного импульса, можно определить расстояние до объекта:

$$R = \frac{c \cdot t_R}{2}, \quad (1.1)$$

где R – расстояние до объекта, м;

c – скорость распространения радиоволн (приблизительно равна $3*10^8$ м/с = 300 000 км/с

t_R – время распространения радиоволны до объекта и обратно (отрезок времени с момента излучения импульса до момента прихода отраженного сигнала), с.

Подставив в формулу (1.1) значение с, выраженное в метрах на микросекунду, а t_R в микросекундах получим расстояние в метрах:

$$R = 150 \cdot t_R, \quad (1.2)$$

Для получения величины R в морских милях при подстановке времени t_R в микросекундах используют следующую формулу:

$$R = \frac{t_R}{12.36}, \quad (1.3)$$

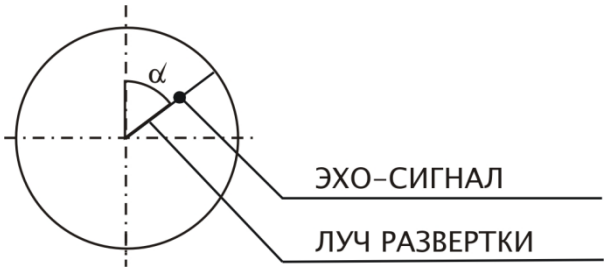
Направление на объект в простейшем случае может быть определено непосредственно по положению антенны в момент приема ею отраженного импульса (импульсов).

Если при достаточно частой посылке импульсов положение непрерывно вращающейся антенны фиксируется в индикаторе, то с помощью индикатора можно отмечать одновременно как расстояние до всех отражающих объектов, так и направление на них. Этот принцип используемый в судовых РЛС кругового обзора, требует применения специальных электронно – лучевых индикаторов, способных отмечать мгновенные положения объектов на экране и при наличии послесвечения запомнить эти положения на время оборота антенны.

Изображение кругового обзора на экране РЛС получается следующим образом (рис 1.2).

<u>Вид изображения на экране РЛС кругового обзора при остановленной антенне</u>

а)



б)

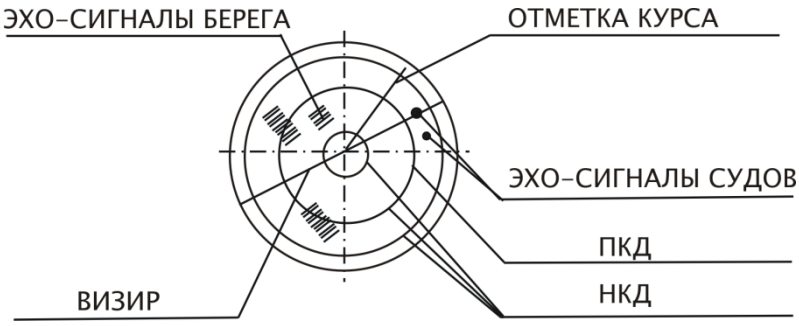


Рис. 1.2

В момент излучения импульса РЛС электронный луч, вызывающий засветку экрана индикатора, начинает отклоняться с постоянной скоростью по радиусу от центра экрана к его краю (рис. 1.2 а). Направление отклонения луча задается угловым положением антенны в горизонтальной плоскости α.

Приходящий отраженный импульс, поступая в индикатор, вызывает увеличение яркости луча развертки, и на экране индикатора в этот момент появляется ярко светящаяся точка. Расстояние от центра экрана до этой точки определяет в масштабе расстояние R от РЛС до объекта.

Направление на объект может быть определено по угловому положению луча развертки на экране индикатора, т.е. по углу поворота антенны относительно начальной линии отсчета. Если антенна не вращается относительно вертикальной оси, а расстояние до объекта не изменяется, то луч развертки каждый раз после излучения импульса будет отклоняться в одном и том же направлении и на экране все время будет видна ярко светящаяся точка с координатами α и R.

При непрерывном вращении антенны, последовательно облучающей окружающие объекты, их положение на экране индикатора будет фиксироваться аналогичным способом, но каждый из эхо – сигналов будет появляться в соответствующей точке экрана. Для сохранения свечения каждого эхо – сигнала в течение полного оборота антенны применяют экраны с длительным послесвечением. Поэтому на таком индикаторе можно одновременно наблюдать эхо – сигналы всех окружающих объектов (рис. 1.2.б).

Различные масштабы изображения на экране индикатора могут быть получены при изменении скорости радиальной развертки луча. При большой скорости луч проходит весь радиус экрана за меньшее время, поэтому на экране видны объекты удаленные на меньшее расстояние, т.е. получается крупный масштаб. При малой скорости развертки на экране можно видеть эхо – сигналы более удаленных объектов – шкала индикатора имеет масштаб мелкий.

Расстояние до нужного объекта определяют по неподвижным (НКД) и подвижным (ПКД) кругам дальности, создаваемыми на самом экране в виде ярко светящихся окружностей.

По числу НКД, уложившихся от центра экрана до объекта, берут грубый отсчет дальности. Совмещая ПКД с объектом, при помощи специального дальномера можно получить достаточно точный отсчет расстояния до берега (объекта).

Направление на объект определяют при помощи механического или электронного визира. Отсчет направления снимают с азимутального круга, обрамляющему экран, или по счетчику, связанному с ручкой вращения визира.

Курс своего судна на экране индикатора определяют по отметке курса (ОК), которая получается в виде ярко светящегося радиуса в момент пересечения антенной носового направления судна.

При отсутствии связи индикатора с гирокомпасом изображение на экране имеет ориентировку по курсу судна (по диаметральной плоскости) и отсчет направления дает курсовой угол объекта (рис.1.3). При связи индикатора с гирокомпасом можно получить ориентировку изображения по норду (по меридиану), при которой с помощью визира снимают значения истинных пеленгов объекта (рис 1.3 б).

Ориентировка по курсу позволяет судоводителю осуществлять быстрый переход от изображения на экране РЛС к визуальному представлению окружающей обстановки, но при этом рыскание судна вызывает перемещение эхо – сигнала по углу.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....4

Раздел 1
Судовые радиолокационные станции......5
Глава: 1.1. Теория и принцип действия морских радиолокаторов.....5
1.1.1. Принцип действия судовой РЛС.....5
1.1.2 Технико – эксплуатационные характеристики судовой РЛС.....9
1.1.3 Параметры и характеристики индикаторного устройства РЛС.....10
1.1.4 Тактические характеристики РЛС.....11
Раздел 2
Морские радары. Органы контроля и индикации......15
Глава 2.1 Современные морские радиолокаторы и их использование в судовождении.....15
2.1.2 Большой морской радар. Комплектация.....17
2.1.3 Морской радар. Органы контроля и индикации.....18
2.1.4 Основные функциональные возможности современных радаров и их использование для обеспечения безопасности плавания.....22
Глава 2.2 Основы использования РЛС в судовождении.....27
2.2.1 Основные понятия и определения.....27
2.2.2 Навигационные характеристики РЛС.....28
2.2.3 Точность измерения расстояния.....31
2.2.4 Помехозащищенность РЛС.....32
Раздел 3
Общая теория маневрирования судов.....33
Глава 3.1 Способы оценки опасности столкновения.....33
3.1.1 Основные понятия и определения.....33
3.1.2 Аналитическое решение треугольника скоростей или путей.....36
3.1.3 Графические приемы построения треугольников путей и скоростей.....37
3.1.4 Определение элементов движения цели аналитическим способом.....38
3.1.5 Основы применения законов относительного движения к маневрированию двух судов.....41
3.1.6 Сектор опасных сближений (СОС) и сектор опасных курсов (СОК).....48
Глава 3.2 Погрешности расчета параметров кратчайшего сближения.....49
3.2.1 Табличный способ.....49
3.2.2 Оценка погрешностей в определении $t_{кр}$ и $D_{кр}$.....51
Глава 3.3 Графическое решение задачи на маневренном планшете.....54
3.3.1 Графическая интерпретация процесса расхождения.....54
3.3.2 Расчет времени и пеленга возвращения на прежний курс.....61
Глава 3.4 Закономерности относительного перемещения судов.....63
3.4.1 Общие положениия.....63
3.4.2 Графическая интерпретация закономерностей относительного движения 63
3.4.3 Характер изменения ЛОД – ов при ΔK больших или меньших угла $90^0 - \alpha$ на острых курсовых углах.....65
3.4.4 Изменение вектора относительного движения целей при уменьшении скорости собственного судна.....66
3.4.5 Закономерности относительного перемещения сателлитов.....67

Глава 3.5 Маневренные характеристики судна и их учет при решении задачи на расхождение. 69
3.5.1 Общие положения. 69
3.5.2 Учет циркуляции 70
3.5.3 Способ относительного промежуточного курса. 72
3.5.4 Способ условной упрежденной точки. 75
3.5.5 Способ введения поправки в $D_{зад}$. 75
3.5.6 Учет инерции при маневре скоростью. 75
3.5.7 Способ построения кривой ОЛОД. 76
3.5.8 Способ введения поправки в $Д_{зад}$ при маневре скоростью 77
3.5.9 Способ условной упрежденной точки при учете инерции судна 77
3.5.10 Способ средней скорости 79
3.5.11 Расхождение с учетом навигационных ограничений. 81
3.5.12 Документальное оформление процесса расхождения. 86

Раздел 4
Система автоматической радиолокационной прокладки (САРП) 87
Глава 4.1 Рекомендации по практическому использованию САРП. 87
4.1.1 Общие положения. 87
4.1.2 Общие технические и эксплуатационные параметры. 89
4.1.3 Цифровые преобразователи и формирование физического строба 92
4.1.4 Использование САРП при маневрировании. 94
4.1.5 Использование САРП для решения навигационных задач. 96
4.1.6 Включение и выключение индексных линий в радаре BRIDGE MASTER – E: 98
4.1.7 Охранные зоны и их использование. 99
4.1.8 Навигационная функция “СТОРОЖ НА ЯКОРЕ” “ANCHOR WATCH” (RADAR FURUNO) 99
4.1.9 Обнаружение сигналов системы поиска и спасения (SART) 100

Раздел 5
Радиолокационная навигация 101
Глава 5.1 Работа САРП в Режиме контроля плавания. 101
5.1.1 Контроль за навигационной безопасностью плавания. 101
5.1.2 Проигрывание маневра 103

Приложение 1. 104
Приложение 2. Практические Работы №1 106
Приложение 3. Практические Работы №2 122
Список рекомендованных литературных источников 221