



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра Морских информационных систем**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

(Магистерская диссертация)

На тему: **«Автоматизированные системы управления техническим  
обслуживанием судовых устройств»**

Исполнитель **Канарёв Игорь Павлович**

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **доктор технических наук, профессор каф. МИС**

(ученая степень, ученое звание)

**Сикарев Игорь Александрович**

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой**

(подпись)

**доктор технических наук, профессор**

(ученая степень, ученое звание)

**Сикарев Игорь Александрович**

(фамилия, имя, отчество)

**« 8 » июня 2022 г.**

г. Санкт-Петербург

2022 год

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Морские информационные системы

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой

Сикарев И.А.

(подпись)

(фамилия, имя, отчество)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 года

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу

студенту Канарёву Игорю Павловичу

(фамилия, имя, отчество)

1. Тема. Автоматизированные системы управления техническим обслуживанием судовых устройств при плавании в арктических водах.

закреплена приказом ректора Университета от «08» декабря 2021 года, № 892-с.

2. Срок сдачи законченной работы «\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 года.

3. Исходные данные к работе

Нормативно-технические документы:

3.1 Международные правила предупреждения столкновений судов в море

3.2 Правила по оборудованию морских судов. Часть V «Навигационное оборудование».

4. Основные вопросы, подлежащие разработке (краткое содержание ВКР)

- сформулировать актуальность решаемой прикладной задачи, цели и задачи ее решения и место прикладной задачи в области совершенствования использования морских информационных систем;
- проанализировать существующие навигационные средства, их характеристики, назначение, требования по надежности;
- рассмотреть средства автоматической радиолокационной прокладки, их характеристики, принцип работы, классификацию;
- произвести расчет времени, необходимого для расхождения судов в узкостях;
- произвести расчет маневра обгона судов в узкостях.

5. Перечень материалов, представляемых к защите:

- ВКР (пояснительная записка);
- отзыв руководителя;
- заключение о проверке работы в системе «Антиплагиат»;
- иллюстративный материал (плакаты, слайды, таблицы, схемы, графики).

6. Консультант по работе с указанием разделов работы:

\_\_\_\_\_ .  
(должность, фамилия, имя, отчество, глава \_\_)

7. Дата выдачи задания: « 4 » апреля 2022 года

Руководитель выпускной квалификационной работы  
профессор каф. МИС д.т.н . Сикарев И.А.

(должность, ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество)

(подпись)

Задание принял к исполнению « 6 » апреля 2022 года

Студент Канарёв Игорь Павлович МД-М20-1

(фамилия, имя, отчество, учебная группа)

(подпись)

## Реферат

Магистерская диссертация: 86 страниц, 31 рисунок, 19 источников литературы.

СРЕДСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ПРОКЛАДКИ, РАДИОЛОКАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ

Объект исследования — автоматизированные системы управления

Предмет исследования — средства автоматической радиолокационной прокладки

Цель работы: анализ средств автоматической радиолокационной прокладки и расчет времени маневра обгона

В работе проводится анализ средств автоматической радиолокационной прокладки. Приводится их классификация, устройство и технические характеристики. Был произведен расчет времени и скорости при маневре обгона судов при плавании в узкостях.

## Содержание

Перечень сокращений и условных обозначений .....	8
Введение .....	9
Глава 1. Анализ работоспособности систем информационной поддержки судоводителя .....	11
1.1. Структура систем информационной поддержки судоводителя .....	11
1.1.1 Общие сведения о средствах судовождения.....	11
1.1.2 Радиопеленгаторы. «Румб».....	15
1.1.3 Судовые радиолокационные станции .....	17
1.1.4 Автоматическая идентификационная система .....	21
1.1.5 Электронно-картографическая информационно-навигационная система.....	25
1.1.7 Средства автоматической радиолокационной прокладки .....	27
1.2. Модель контроля работоспособности электронных систем информационной поддержки.....	31
1.2.1 Общие положения и требования для судов, плавающих в полярных водах .....	31
1.2.2 Требования к системам, отвечающим за безопасность мореплавания .....	32
1.2.3 Техническое обслуживание .....	33
1.2.4 Надежность радиолокации.....	35
1.3. Анализ характера и причин возникновения неисправностей систем при плавании в Арктических водах .....	36
1.3.1 Обледенение .....	37
1.3.2 Классификация отказов.....	38
1.3.3 Вероятность и интенсивность отказов .....	39
Глава 2. Аппаратно-программная реализация управления техническим обслуживанием систем автоматической радиолокационной прокладки .....	41
2.1. Оценка ледовой обстановки с использованием судовых РЛС.....	41
2.1.1 Трудности, возникающие при обнаружении льдов судовыми РЛС.	41
2.2.2 Плавание во льдах .....	42
2.2. Судовые средства автоматической радиолокационной прокладки .....	43

2.2.1 Классификация и назначение САРП .....	43
2.2.2 Устройство САРП .....	46
2.2.3 Режимы ориентации изображения САРП .....	48
2.2.4 Ввод и индикация «электронных линий» .....	49
2.2.5 Выбор шкалы дальности и периодичность наблюдений .....	52
2.2.6 Принципы оценки ситуации .....	54
2.2.7 Принципы радиолокационного наблюдения .....	57
2.3. Обнаружение, захват и автосопровождение целей .....	59
2.3.1 Автоматическое обнаружение .....	59
2.3.2 Режимы захвата целей.....	60
2.3.3 Автосопровождение целей.....	61
2.4. Требования, предъявляемые к САРП.....	63
2.5.Ограничения САРП.....	54
Глава 3. Расчет маневра расхождения судов и времени расхождения при плавании в каналах и узкостях .....	67
3.1 Расчет маневр расхождения судов с использованием радиолокационной информации.....	67
3.1.1 Роль САРП при расхождении судов.....	56
3.1.2 Оценка обстановки и определения ЭДЦ.....	68
3.1.3 Расчет маневра расхождения с одиночной целью .....	71
3.1.4 Расчет маневра расхождения с несколькими целями.....	75
3.2. Расчет времени, необходимого для расхождения судов в каналах .....	79
3.2.1 Расчет времени расхождения двух судов.....	79
3.2.2 Расчет маневра обгона .....	81
Заключение .....	86
Список использованной литературы.....	88

## Перечень сокращений и условных обозначений

АИС- автоматическая идентификационная система

ИВК- информационно-вычислительный комплекс

ИМО- Международная морская организация (International Maritime Organization)

ЛДЦ- линия движения цели

ЛОД- линия относительного движения

МППСС- международные правила предупреждения столкновения судов

НКД- неподвижное кольцо дальности

ОД- относительное движение

ОК- охранное кольцо

ОЛОД- относительная линия движения

РМРС- Российский морской регистр судоходства

ПКД- подвижное кольцо дальности

САРП- система автоматической радиолокационной прокладки

ЦВМ- цифровая вычислительная машина

ЭВМ-электронная вычислительная машина

ЭДЦ- элементы движения цели

ЭРНА-электрорадионавигационная аппаратура

## **Введение**

В настоящее время интерес к Арктике возрастает с каждым годом. Отправляются экспедиции, проводятся исследования. Для безопасности судоходства применяют все более совершенные методы навигации. Сама обстановка в Арктическом регионе диктует определенные правила к прокладке маршрута судна, определения его скорости. На судоводителе лежит большая ответственность за сохранение жизни и здоровья экипажа и за целостность судна.

Одним из основных средств обеспечения безопасности судоходства являются системы автоматической радиолокационной прокладки. Около 20% аварий на море-столкновение судов. Последствия от них очень велики. До 1945 года, когда радиолокация была не так распространена, как сейчас, около 8% мировых судов были участниками столкновения, что составляло 1400 судов ежегодно. Одной из причин столкновения является усложнение условий судоходства.

САРП предназначены для помощи судоводителю в поиске и опознавании целей, определении дальности до наблюдаемых целей и принятии решений по проведению маневра расхождения с ними. Именно это и формирует актуальность данной работы.

**Цель работы:** Анализ автоматизированных систем управления техническим обслуживанием судовых устройств при плавании в Арктике.

### **Задачи исследования:**

1. Рассмотреть структуру информационной поддержки судоводителя.
2. Рассмотреть виды отказов радиолокационных систем и их компонентов.
3. Рассмотреть основы надежности радиолокационных систем.



4. Рассмотреть состав, принципы работы средств автоматической радиолокационной прокладки.

5. Рассмотреть алгоритм построения маневра расхождения судна как с одиночной, так и с несколькими целями.

6. Произвести расчет времени и скорости при совершении маневра расхождения судна с целью.

## **Глава 1. Анализ работоспособности систем информационной поддержки судоводителя**

### **1.1. Структура систем информационной поддержки судоводителя**

#### **1.1.1 Общие сведения о средствах судовождения**

Для следования по намеченному курсу, для наблюдения за судами и для ориентировки в открытом море на каждом судне установлены навигационные средства.

Навигационные приборы, которые основаны на электроэнергии, называются электронавигационными приборами. А приборы, чья работа базируется на принципах радиотехники-радионавигационными. О них речь пойдет далее.

Все эти навигационные средства предназначены для облегчения судоводителю принять верное и своевременное решение по совершению различных маневров.

Судоводитель- специалист по судовождению, в основные обязанности которого входит безопасное ведение судном согласно маршруту. При управлении судном ведет поиск сигналов навигационной обстановки- световых огней, буйев, а также помогает выбрать правильный путь.

Все средства, необходимые для судовождения располагаются на ходовом мостике. Совокупность аппаратуры, которая предназначена для определения направления, скорости, пройденного пути являются электронавигационными приборами. Эти приборы, согласно своему назначению, разделяются на три группы:

1. Приборы для определения направления в море. Они используют свойства гироскопа (гирокомпасы, гироазимуты). Сюда же входят автоматические устройства, которые обеспечивают современное судовождение (автоматические счислители, прокладчики).

2. Вторая группа — это приборы, позволяющие измерять глубину и обнаруживать подводные препятствия. Данная группа базируется на свойствах акустических колебаний при распространении в воде отражаться от объектов (эхолоты).

3. Приборы для измерения скорости и пройденного пути, например лаги, которые в свою очередь делятся на гидродинамические, инерционные, вертушечные.

Кроме этого, для решения навигационных задач, таких как: определение местоположения судна, обеспечение безопасного плавания около берега, распознавания других судов используются радионавигационные средства. Под радионавигационной системой понимают комплекс синхронизированных наземных или космических излучателей и бортовых приемников, которые могут размещаться как на самом судне, так и вне его.

Все РНС имеют зону действия, в пределах которой могут снабжать судно навигационной информацией с допустимой погрешностью. С помощью радиоволн всю аппаратуру, часть которой находится на самом судне, а часть на опорных наземных радионавигационных точках, связывают в единую систему.

### **1.1.2 Лаги**

Лаги на судне служат для определения скорости собственного судна. Лаги можно разделить на две категории в зависимости от методов, применяемых для определения скорости собственного судна: относительные, абсолютные.

Относительные лаги- это лаги, которые определяют скорость судна относительно воды. Абсолютные- относительно грунта.

Лаги состоят из:

- блока питания;
- датчиков скорости;
- электронной части;
- индикаторов.

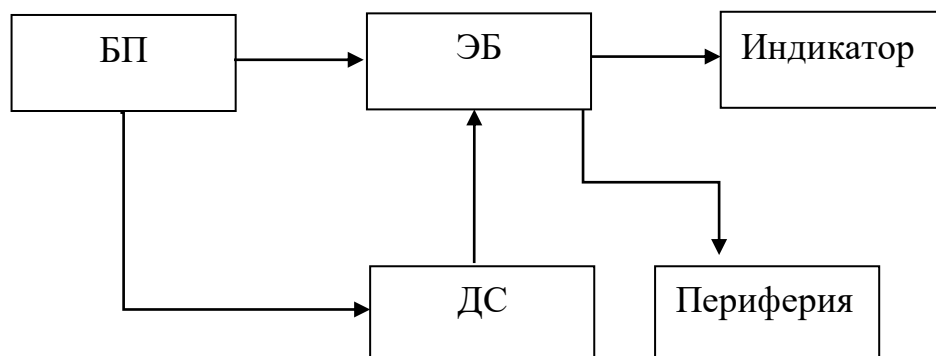


Рисунок 1.1- устройство лага

Рассмотрим принцип действия лага. На электронный блок и датчик скорости подается энергия от блока питания. Затем, информация от датчика скорости передается в электронный блок, там обрабатывается и выводится на индикаторы и периферийные устройства.



Рисунок 1.2- Лаг

Сам датчик скорости бывает либо электромагнитным, так как основан на законах электромагнитной индукции, и доплеровский, использующий доплеровский эффект.

Электромагнитные датчики скорости применяются в относительных лагах, а доплеровские- в абсолютных.

### **1.1.3 Гирокомпасы**

Гирокомпасы- навигационное средство, применяемое для определения курса судна.

В основе конструкции гирокомпаса лежит принцип действия гироскопа, то есть сохранение оси вращения при перемещении в пространстве.

В отличие от магнитных компасов, гирокомпасы указывают географический полюс, а не магнитный. Такая особенность облегчает выбор курса, так как не нужно брать поправку на девиацию, присущую магнитным компасам.

Кроме этого, гирокомпас устойчив к влиянию, которое вызывают намагниченные части судна.

Из минусов стоит отметить, что гироскопические компасы имеют достаточно сложную конструкцию, а при сильных и многократных маневрах показания гирокомпаса восстанавливаются постепенно, а не мгновенно, как на магнитном.



Рисунок 1.3- Гирокомпас

#### **1.1.4 Радиопеленгаторы. «Румб»**

Первым радиотехническим средством для определения местоположения судна был радиопеленгатор. С его помощью определяют направление на радиомаяк, который установлен на берегу, и начинающий работать в определенное время. После чего азбукой Морзе передает свой позывной и непрерывный звук для возможности пеленгации судна. Но не следует забывать, что на точность радиопеленгования оказывает влияние множество внешних факторов. Один из них — это электромагнитное поле судна, которое создает радиодевиацию. Также негативное влияние оказывает так называемый ночной эффект- поверхностные и отраженные от ионосферы радиоволны. Существующие способы борьбы с этими негативными влияниями не позволяют полностью их устранить. Остаточные погрешности определяются специальными наблюдениями и учитываются при прокладке радиопеленгов на карте. Радиопеленгаторы- самые распространенные средства из-за своей простоты использования и обслуживания, а также из-за их относительной дешевизны.

Наиболее совершенным радиопеленгатором является двухканальный визуальный радиопеленгатор с электронно-лучевым индикатором. В качестве примера рассмотрим двухканальный визуальный радиопеленгатор типа «Румб». Данный радиопеленгатор имеет следующие характеристики:

1. Тип принимаемого сигнала- немодулированные колебания А1А.
2. Сигналы с амплитудной модуляцией тоном низкой частоты А2А.
3. Сигналы с амплитудной модуляцией звуковыми колебаниями А3А.
4. Диапазон частот для первого канала составляет 250-545 кГц. Для второго- 1600-3250 кГц.
5. Избирательность- по зеркальному каналу не менее 60 дБ. По каналам промежуточных частот не менее 80 дБ.
6. Мощность, потребляемая от сети переменного тока, не более 150 В\*А.



Рисунок 1.4- Радиопеленгатор "Румб"

«Румб» выпускается в различных комплектациях в зависимости от типов рамочных антенн, от рода судовой электросети и т.д. В комплект

входят: приемоиндекаторный блок, блок питания, блок рамочных антенн, ненаправленная антенна типа «наклонный луч», а также антенный усилитель и сигнальный щиток.

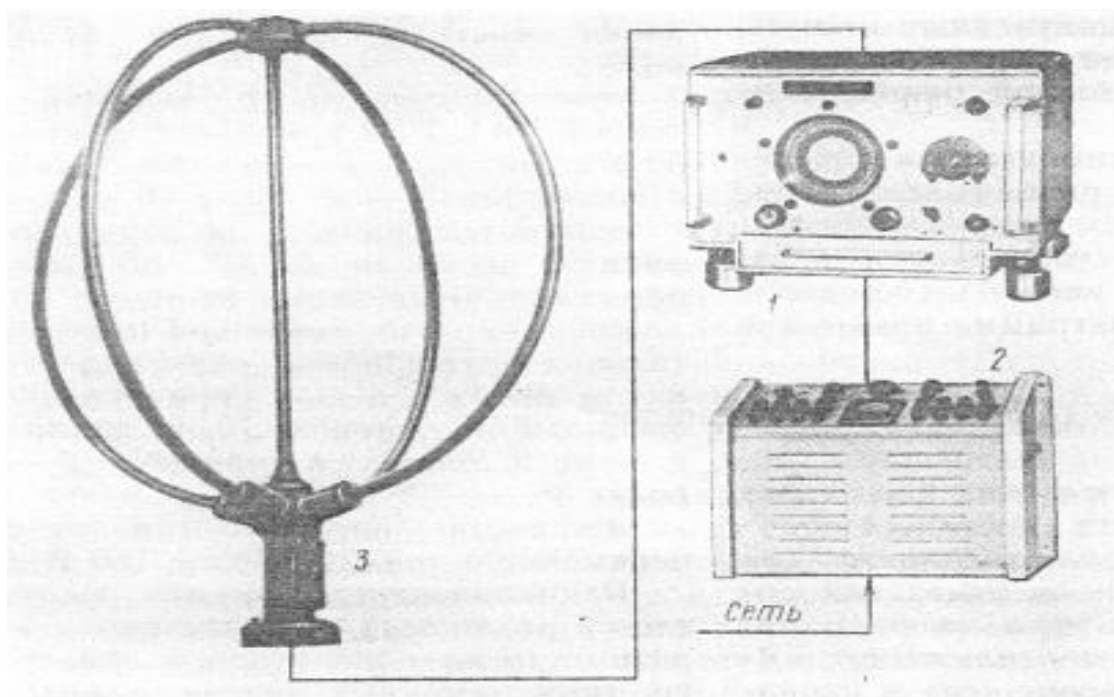


Рисунок 1.5-Комплектация радиопеленгатора "Румб"

### 1.1.5 Судовые радиолокационные станции

Из наиболее часто используемых средств радиотехники судоводители используют радиолокационные станции (РЛС).

В нашей стране идейным вдохновителем в области радиолокации с 1932 года был Ощепков П.К. В то время он был сотрудником ЛЭФИ. В 1934 году на совещании в ЛФТИ поставили задачу по созданию станции, которая могла обнаруживать самолеты на высоте 10 километров и дальности 50 километров. Одновременно с этим, в этом же году, в ЛЭФИ также началась разработка похожей системы. Руководителем был Чернышев А.А. Через год была разработана радиолокационная станция «Буря». Она представляла из себя подвижный двухантенный зенитный радиолокатор.



На основе «Бури» была спроектирована установка «Стрела». Она предназначалась для обнаружения кораблей. В 1939 году в ЛФТИ создали импульсную радиолокационную станцию, получившую название «Редут».

В 1940 году на основе «Редута» была сконструирована РЛС для противовоздушной обороны, получившая название «РУС-2». Данная станция была способна как обнаруживать самолеты на большой дальности, так и вести непрерывное наблюдение за их дальностью и скоростью.

В том же году началась разработка корабельной РЛС. Сперва предполагалось, что это будет корабельный вариант «РУС-2», но в ходе разработки за ее основу взяли одноантенную РЛС. Полученная РЛС получила название «Редут-К». Индекс «К» означал, что станция корабельная. Перед началом войны данная станция была установлена на крейсере черноморского флота «Молотов». «Редут-К» получил высокие оценки из-за своего надежного обнаружения как самолетов противника, так и его кораблей.

Стоит отметить, что в СССР, до Великой Отечественной войны, радиолокацию сильно недооценивали. К 1941 году работы в данном направлении велись в небольших объемах. Лидерами в области радиолокации в то время были Германия, Англия, США.

Когда война закончилась, РЛС стали испытывать на судах транспортного флота. РЛС «Гюйс-М» была установлена на теплоход «Грибоедов».

Судовая радиолокационная станция- установленная на корабле или судне РЛС, предназначенная для обнаружения и наблюдения за другими судами, льдами и прочими объектами в море, которые могут представлять интерес для судоводителя. Также РЛС может измерять пеленги, расстояния и курсовые углы, и применяется для определения судна относительно системы координат.

Судовая РЛС представляет собой импульсные радиотехнические средства, которые используют зависимости между временем распространения сигнала и навигационными параметрами.

РЛС состоит из сканирующей антенны и монитора, визуализирующего информацию. В работа РЛС использует метод радиоволн, которые отражаются от объектов, расположенных на пути их распространении. Другими словами, в работе РЛС применяется принцип эха.

Рассмотрим принцип работы РЛС. Он заключается в том, что передатчик излучает высокочастотные колебания, которые посылаются в пространство узким лучом, который непрерывно вращается в горизонтальной плоскости. После чего, отраженные от любой поверхности электромагнитные колебания (запаздывающие на время  $t = 2Dc$ , где  $D$ -расстояние до объекта, а  $c$ -скорость распространения радиоволн) в виде эхо-сигнала поступают на приемник и изображаются на радаре. Ориентировочное значение радиолокационной дальности обнаружения объектов при нормальном состоянии атмосферы (давление 760 мм, температура воздуха 15°C, относительная влажность 60%, температурный градиент 0,0065с/м) определяется по формуле (1.1):

$$D_{po} = 2,39(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_0}) \quad (1.1)$$

где  $h_a$ - высота антенны над уровнем моря;

$h_0$ - высота отражающей части объекта над уровнем моря.

Как правило, радар с приемопередатчиком устанавливают на судовой мачте. К этому оборудованию предъявляются повышенные требования к устойчивости к осадкам и ветру, а также к повышенной прочности. Для крупных судов использование РЛС регламентировано специальными нормами. Например, на суда больше трех тонн устанавливают две РЛС, которые сочетают X- и S-диапазоны.



Рисунок 1.5- РЛС 3Р95



Рисунок 1.6- антенна РЛС

Для визуализации информации используется и специальный компьютер цветной монитор. Компьютер осуществляет цифровую обработку сигналов и выводит изображение на дисплей. Стоит отметить, что входные

сигналы содержат и различные помехи, поэтому объективность изображения зависит от алгоритма цифровой обработки.



Рисунок 1.7- дисплей РЛС

Следует отметить, что при использовании РЛС стоит учитывать метеорологические условия. Например, при сильных осадках (ливень, град, сильный снегопад и т.д.) дальность обнаружения объектов уменьшается на 30-50%, а наличие качки уменьшает точность измерений. При таких условиях наблюдения следует вести при длине волны 10см. Кроме этого, на наблюдения влияет волнение моря, которое образует засветку центральной части РЛС отражениями от волн.

### **1.1.6 Автоматическая идентификационная система**

Автоматическая идентификационная система или АИС-это система, которая необходима для опознавания судов, габаритов, а также их курса. При включенном АИС судно также видно на мониторах других судов, находящихся по близости. Данная система должна быть включена постоянно, только капитан может отдать приказ на его отключение. Согласно Конвенции

SOLAS 74/88 АИС является обязательно системой для судов с водоизмещением больше 300 регистровых тонн, совершающих международные рейсы, для судов водоизмещением 500 регистровых тонн, не совершающих международные рейсы, а также для всех пассажирских судов.



Рисунок 1.8- АИС

АИС разделяются на подвижные (мобильные) и стационарные. К подвижным станциям относятся:

1. Воздушные станции на поисково-спасательных судах.
2. Станции, установленные на навигационных объектах.
3. Портативные станции, которые используют лоцманы на борту судна.
4. Судовые станции класса А.
5. Судовые станции класса В.

К стационарным станциям относятся базовые и репитерные станции.

АИС класса А, в соответствии с требованиями SOLAS должны устанавливаться на всех конвенционных судах. Требования этой конвенции были описаны выше. Станции класса В устанавливаются на прогулочных

яхтах, рыболовецких судах. АИС, установленные на навигационных объектах, выполняют роль радиомаяка.

АИС состоит из основного блока и пульта управления и визуального отображения. Основной блок обеспечивает все функции АИС и способен работать без пульта управления. Пульт управления нужен для взаимодействия с оператором. От основного блока на пульт передаются команды управления, после чего передает обратно блоку команды ручного ввода.

Рассмотрим устройство основного блока АИС класса А. Он состоит из:

1. Двух приемников AIS-1 и AIS-2, которые оснащены декодерами TDMA с возможностью переключаться на региональные каналы;
2. Передатчика, переключаемого на каналы AIS-1 и AIS-2 и региональные каналы;
3. Приемника и декодера ЦИВ;
4. Приемника глобальной спутниковой навигации. Для российских судов ГЛОНАСС является обязательным, а GPS может использоваться только как вспомогательный;
5. Кодеров сигналов ЦИВ и TDMA;
6. Контроллера на основе микропроцессора, управляющего работой всей аппаратуры;
7. Устройства интегрального контроля работоспособности.

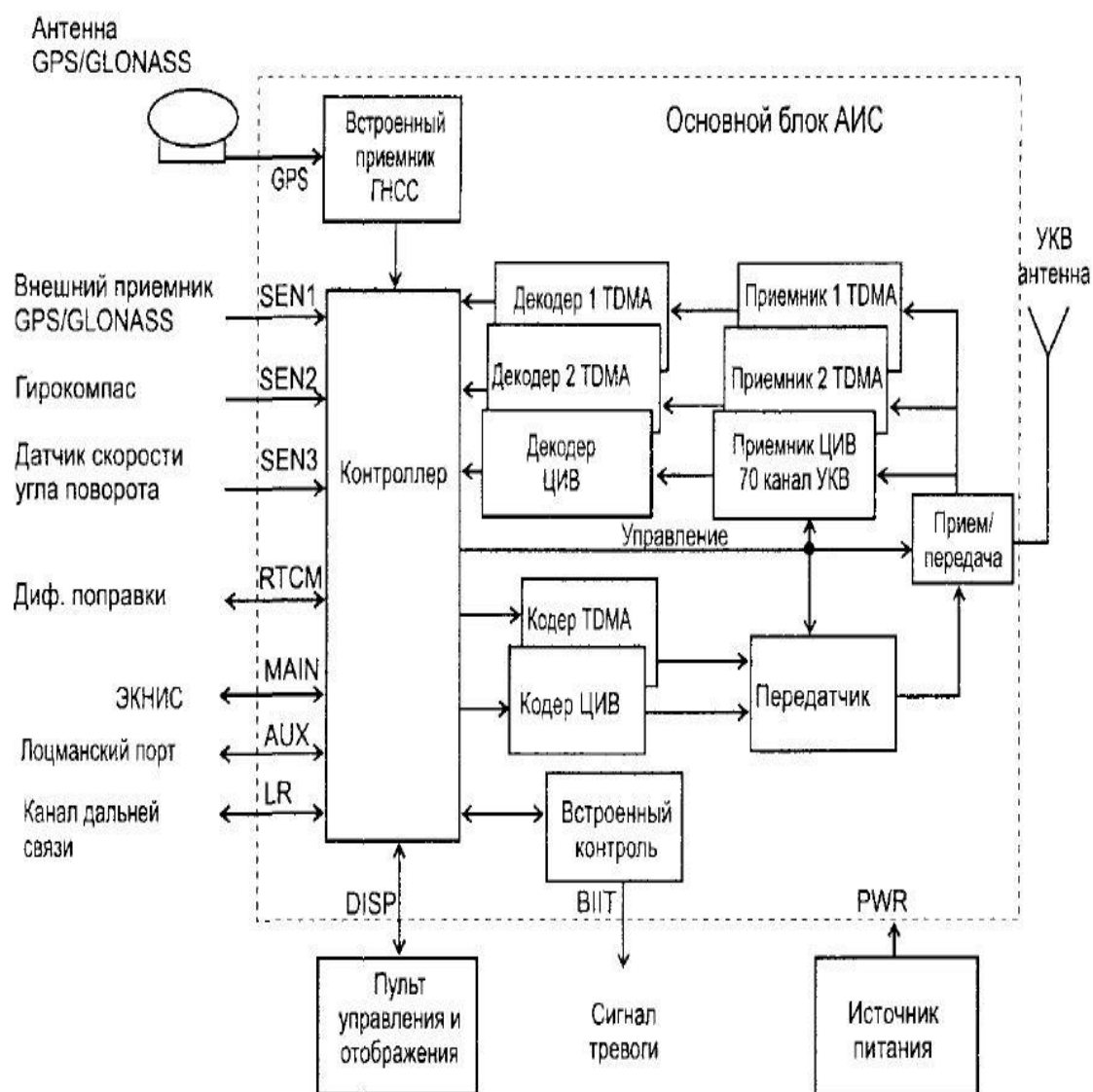


Рисунок 1.9- Структурная схема АИС

Принцип действия основан на приеме и передаче сообщений в УКВ-диапазоне. Передатчик работает на более длинных волнах, чем радары. Это позволяет производить обмен информацией на местности, имеющей препятствия в виде небольших объектов, а не только на прямых расстояниях. Для избегания проблем интерференции и не нарушать коммуникацию других объектов, АИС передают и получают информацию не по одному, а по двум радиоканалам.

Сообщения, передаваемые и получаемые АИС, могут содержать следующую информацию:

1. Идентификационную информацию о различных объектах;
2. Информацию о состоянии объекта, получаемую автоматически с элементов управления объектом;
3. Информацию о географических и временных координатах, получаемую АИС от глобальной навигационной спутниковой системы.

### **1.1.7 Электронно-картографическая информационно-навигационная система**

Электронно-картографическая информационно-навигационная система- навигационная система на основе информации, соответствующей требованиям Международной морской организации, предназначенная для обеспечения безопасности судоходства и служащая альтернативой бумажным картам.

Электронные картографические системы делятся на три типа:

1. ЭКНИС- морская навигационная картографическая система, удовлетворяющая требованиям национального морского регистра и соответствующая международным требованиям.
2. СОЭНКИ- речная картографическая система, удовлетворяющая требованиям национального речного регистра. СОЭНКИ, которая имеет сертификаты морского и речного Регистров, а также удовлетворяющая требованиям, которые предъявляются к ЭКНИС, предназначена для судов смешанного плавания.
3. ЭКС- картографическая система, предназначенная для использования судами каботажного и внутреннего плавания.



Стоит отметить, что системы могут считаться ЭКНИС и СОЭНКИ, если они удовлетворяют требованиям Регистров и на них установлены откорректированные официальные электронные карты.

При судовождении по электронным картам, на судах должны быть резервные системы, на которые судоводитель может перейти если случится сбой основной системы. В качестве запасных систем могут использоваться другие ЭКНИС или СОЭНКИ, а переход с основной на резервную систему должен осуществляться автоматически. Кроме этого, допускается использование бумажных карт.

В настоящее время существуют два вида электронных карт. Это растровые и векторные карты.

Растровая карта — это отсканированная копия бумажной карты, которая привязана к координатной сетке. Из недостатков данных карт можно выделить: невозможность убрать с отображения некоторые слои, тем самым разгрузив карту; невозможность посмотреть информацию об объектах; невозможность значительно изменить масштаб карты.

Векторная карта- карта, в основе которой лежит электронная база данных о картографических объектах. Это дает возможность хранить такую карту как совокупность отдельных элементов. Из этого следует, что векторная карта лишена недостатков регистровой карты. Кроме этого, векторные карты позволяют производить автоматическую корректуру карт, накладывать на карту данные о целях и т.д.



Рисунок 1.10- Электронно-картографическая система

### 1.1.8 Средства автоматической радиолокационной прокладки

Средства автоматической радиолокационной прокладки-радиолокационные информационно-вычислительные комплексы, предназначенные для автоматической радиолокационной информации, а также для отображения информации, поступающей от лага и гирокомпаса.

Работая с САПР, судоводители не занимаются ручным съемом радиолокационных пеленгов и дистанций до цели, графической прокладкой этих данных на радиолокационном планшете. Все эти операции выполняются автоматически.

Любые САПР выполняют те же функции по отображению информации, что и РЛС, но в тоже время имеют ряд функциональных возможностей, позволяющих выполнять следующие операции:

1. Автоматическое обнаружение эхо-сигналов надводных целей.
2. Ручной и автоматический захват целей на сопровождение.
3. Обнаружение маневра цели.

4. Звуковая и световая сигнализация о появлении новых и опасных целей.

Почти в каждой САРП состоят из датчиков информации, роль которых выполняют РЛС, лаги и гирокомпас. От РЛС поступают данные о текущем значении курсового угла антенны, видеосигналы об окружающей обстановке. От лагов и гирокомпасов поступает информация о скорости и курсе судна.

В режиме автоматической радиолокационной прокладки РЛС выполняет свои обычные функции, и одновременно с этим основным датчиком информации об обстановке.

Современные САПР разделяются на два типа:

1. Системы с автономным индикатором, которые подключаются к судовой РЛС.
2. Системы, которые составляют частью судовых РЛС, с общим индикатором кругового обзора.

### **1.1.9 Гидролокаторы и эхолоты**

Гидролокаторы- устройства, предназначенные для акустического обнаружения подводных целей.

Главной частью гидролокатора является кварцевый преобразователь. Он производит звуковые колебания при прохождении по нему переменного тока. Кварцевый излучатель разработал французский ученый Ланжевен.

Идея создания гидролокатора принадлежит русскому ученому, находящемуся в эмиграции во Франции, Шиловскому. По распоряжению французского правительства к нему присоединился Ланжевен, и в 1916 году они получили патент на создание самого прибора. Созданный ими прибор применялся для обнаружения подводных лодок.

Гидролокаторы разделяются на две категории, в зависимости от принципов работы.

Первый тип- активный гидролокатор. Он излучает звуковые сигналы в заданном направлении, после чего принимает отраженное эхо. Расстояние до объекта вычисляется по скорости получения эха от сканируемого объекта.

Вторым типом гидролокатора является пассивный гидролокатор. Отличается от активного тем, что способен только принимать шум, создаваемый объектом.

Рассмотрим устройство гидролокатора. Он состоит из: преобразователя, передатчика, реле приема-передатчика, приемника и коммутатора.

Преобразователь служит для преобразования электроэнергии в механическую. В роли преобразователей выступают пьезоэлектрические кристаллы или магнитострикционные элементы.

Передатчиком является генератор ультразвуковых импульсов. Мощность передатчиков, как правило, примерно 8кВт, а частота-20кГц.

Реле приема-передатчика в автоматическом режиме подключает преобразователь к передатчику или приемнику, так как преобразователь может выступать в роли как излучателя, так и чувствительного элемента.

Приемник служит для принятия поступающих сигналов на чувствительные элементы. Сигналы сперва поступают на приемно-усилительный тракт, после чего передаются на коммутатор.

Коммутатор направляет поступивший сигнал на два канала- канал слухового контроля и канал видеоиндикации.

На работу гидролокатора влияют различные помехи. Главный вид таких помех-реверберационные. Реверберационные-звуковые колебания, которые возникают при отражении от морской поверхности и его дна. Можно выделить три вида таких помех: донная, поверхностная, объемная. Реверберация наблюдается также и при отражении звука от плотных слоев воды. В данном случае, возникает еще и рефракция, то есть преломление

звуковых волн. При возникновении рефракции появляются мертвые зоны, не пропускающие звуковые сигналы и ведущие к ухудшению обнаружения подводных объектов.

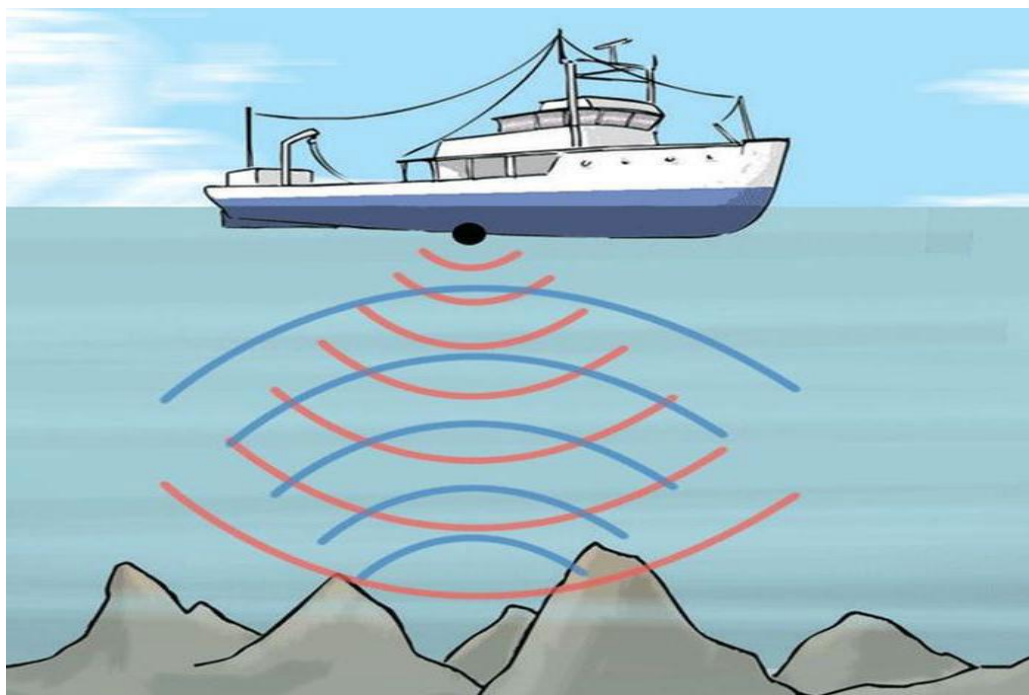


Рисунок 1.11-Работа гидролокатора

Эхолоты- приборы, измеряющие глубину. Эхолот состоит из:

- вибратора;
- блока питания;
- электронной части;
- индикатора;
- самописца;
- сигнализатора глубины.

Вибратор преобразует электрический импульс в зондирующий сигнал. Есть два вида вибраторов: магнитострикционный и пьезокерамический.

В основе пьезокерамического вибратора лежит принцип изменения определенных материалов изменять свои размеры при воздействии на них электрического напряжения. Магнитострикционный вибратор основан на эффекте магнитострикции. Вибраторы устанавливаются на днище судов, в клинкете и на бортах судов.

Блок питания вырабатывает необходимое для работы эхолота напряжение.

Электронная часть служит для выработки зондирующих импульсов, преобразования времени в расстояние.

Индикатор отображает полученную информацию о скорости.

Самописец регистрирует полученные данные о глубине. Существуют два типа: механические и электронные самописцы. Механические самописцы ведут записи на специальной бумаге, а электронные-на цифровом дисплее.

Сигнализатор глубины- устройства, подающие сигнал, когда происходит отклонение от заданной глубины.

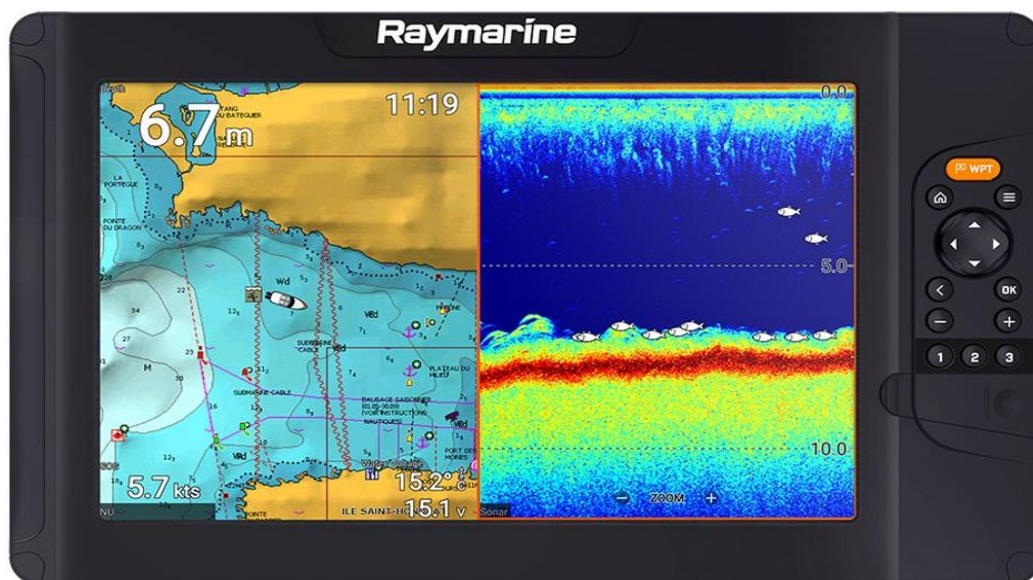


Рисунок 1.12-Эхолот

## 1.2. Модель контроля работоспособности электронных систем информационной поддержки

### 1.2.1 Общие положения и требования для судов, плавающих в полярных водах

Для судов, совершающих рейсы по полярным водам, помимо национального регистра, основным регламентирующим документом является Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах

(Полярный кодекс). Для судна, к которому применяется Полярный кодекс, обязательно должно выдаваться «Свидетельство судна полярного плавания». Данное свидетельство выдается Администрацией после прохождения освидетельствования. Кроме этого, для каждого такого судна разрабатываются Наставления по эксплуатации в полярных водах (НЭПВ). НЭПВ включает в себя следующие положения:

1. Планирование рейса.
2. Эксплуатации устройства для получения прогнозов условий окружающей среды.
3. Реализацию специальных мер, направленных на поддержание работоспособности оборудования и систем в условиях низких температур, обледенении верхних конструкций судна и груза, присутствие льда.

Для безопасности мореплавания для судов в полярных водах должны быть предусмотрены следующие компоненты:

1. Два вращающихся по дуге  $360^{\circ}$  прожектора, дистанционно управляемых с ходового мостика.
2. Средства предотвращения нарастания льда на антеннах и средства удаления льда с иллюминаторов поста управления судном.
3. Защита датчиков, выходящих за пределы корпуса, от воздействий льда.
4. Два независимых средства немагнитного определения и указания курса, запитанных от основного и резервного источника питания.
5. Два независимых эхолота, либо один, но с двумя независимыми датчиками.

### **1.2.2 Требования к системам, отвечающим за безопасность мореплавания**

Полярный кодекс выдвигает определенные требования к средствам навигации. Они должны быть разработаны, изготовлены и установлены так,

чтобы их работоспособность сохранялась в ожидаемых условиях эксплуатации. Это касается и систем определения курса и местоположения судна. На судах должны присутствовать средства обнаружения льда в темноте, а суда, которые задействуются в операциях под проводкой ледоколов, обязаны обладать средствами указания того, что судно остановилось. Кроме этого, такие суда должны иметь управляемыми вручную красным сигнальным проблесковым огнем, который должен быть виден с кормы. Этот огонь должен быть виден на дистанции по меньшей мере двух морских миль, а горизонтальный и вертикальный секторы видимости должны отвечать эксплуатационным характеристикам кормовых огней, требуемых Международными правилами по предотвращению столкновений судов в море.

### **1.2.3 Техническое обслуживание**

Техническое обслуживание является одной из частей эксплуатации и заключается в обеспечении исправной работы аппаратуры, поддержание ее технико-эксплуатационных характеристик. Все это обеспечивают судовые специалисты. На них возлагаются обязанности по обеспечению исправности и готовности к применению электрорадионавигационной аппаратуры (ЭРНА), проведению ремонта, а также контролю качества ремонта, производимого береговыми специалистами.

Обеспечение исправного эксплуатационного технического состояния ЭРНА выполняется путем регулярного проведения технического осмотра, профилактических и ремонтных работ. Техническая исправность подтверждается актами инспекторских осмотров, результатом осмотров специалистов из РМРС. Если причина отказа является гарантийным случаем, ремонт производится специалистами завода. После такого ремонта специалисты, обслуживающие ЭРНА, проводят проверку и составляют соответствующие акты.

Признаками исправной технической ЭРНА являются:



1. Правильная точность выдаваемой информации.
2. Состояние корпусов приборов в хорошем состоянии, отсутствие ржавчины и прочих внешних повреждений.
3. Отсутствие заеданий, люфтов переключателей и прочих органов управления.
4. Исправная работа при допустимой вибрации, способность непрерывной работы в течении указанного периода времени без внутренних перегревов.

Для поддержания ЭРНА в рабочем состоянии используют следующие виды технического обслуживания:

1. Техническое обслуживание при подготовке аппаратуры к использованию после долго перерыва в работе, перед каждым выходом в море.
2. Техническое обслуживание при использовании, выполняемое во время работы аппаратуры.
3. Периодическое техническое обслуживание, которое выполняется через установленные промежутки времени.
4. Техническое обслуживание, выполняемое согласно требованиям по эксплуатации ЭРНА, вне зависимости от времени работы аппаратуры.

При проведении технического обслуживания следует соблюдать следующие требования:

1. Техническое обслуживание, которое выполняется через длительный срок, обязательно должно включать все мероприятия, предусмотренные для технического обслуживания, выполняемого в более короткие сроки.
2. При обнаружении следов коррозии на корпусе судна ее необходимо удалить и произвести окраску приборов.
3. Запрещено вскрывать узлы и блоки ЭРНА, которые оговорены в инструкции по эксплуатации.

4. Приборы, установленные на верхней палубе, и которые не используются в данный момент должны быть накрыты чехлами.

#### **1.2.4 Надежность радиолокации**

Для начала стоит отметить, что надежность всего комплекса радиолокации — это комплексное понятие. Надежность РЛС зависит от надежности радиоэлектронных устройств, из которых она состоит.

Под надежность понимают свойства того или иного изделия сохранять свою работоспособность в течение определенного времени в пределах установленных норм значения функциональных параметров и при определенных условиях. Данное свойство включает в себя такие понятия безотказности, ремонтпригодности, долговечности.

В наше время проблематика надежности усилилась. Прежде всего это связано с усложнением схемотехнического устройства радиоэлектронных устройств. С каждым годом появляются все более совершенные и сложные в проектировании и производстве устройства. Это связано с повышением требований к радиолокации. Соответственно увеличилась стоимость производства. А это ведет к тому, что и цена отказов также увеличилась. Любая неисправность, любой дефект может принести существенные финансовые и технические сложности. Этот параметр привел к большему техническому контролю производства. Кроме этого, ужесточились условия, в которых радиоэлектронная аппаратура используется. Зачастую они характеризуются большими перепадами температуры, применением в холодном или жарком климате.

Как правило, используются пять групп показателей: показатель ремонтпригодности, показатель долговечности, показатель сохраняемости, показатель безотказности, комплексные показатели надежности.

Все эти показатели, за исключением комплексных, относят к единичным показателям. Под единичным показателем понимают показатель,

характеризующий одно из свойств, составляющих надежность изделия. А комплексные показатели характеризуют несколько свойств.

Рассмотрим вероятность безотказной работы. Под этим понимают безотказность работы за время  $t_3$  вероятность вида

$$P(t_3) = \text{Вер}\{T \geq t_3\}, \quad (1.2)$$

где  $T$  – случайное время безотказной работы

Если известна функция плотности распределения времени до отказа  $w(t)$ , то вероятность безотказной работы за время  $t_3$  можно рассчитать по выражению

$$P(t_3) = \int_{t_3}^{\infty} w(t)dt \quad (1.3)$$

Если распределение времени до отказа экспоненциально, то из выражения (1.3) получаем

$$P(t_3) = e^{-\lambda t_3} \quad (1.4)$$

где  $\lambda$ - параметр экспоненциального распределения для рассматриваемого изделия.

Сейчас основной характеристикой безотказности является интенсивность отказов  $\lambda_0$ . Это значение принимается постоянным в течении определенных наработок, а также указывается в технической документации. Данный показатель соответствует номинальному электрическому режиму и лабораторным условиям эксплуатации.

### **1.3. Анализ характера и причин возникновения неисправностей систем при плавании в Арктических водах**

### 1.3.1 Обледенение

При плавании в Арктическом регионе одной из причин отказа навигации является обледенение судна. Под обледенением понимают замерзание попавшей на борт, палубу и верхние сооружения воды. Ледяная корка, возникшая в результате обледенения, может достигать значительной толщины и веса. При образовании ледяной корки на надстройках, рангоутах и такелажах негативно сказывается на средствах судовой радиосвязи, на работе радиолокаторов.

При плавании во льдах необходимо постоянное наблюдение за уровнем воды в корпусе судна. Удаление льда начинается сверху, как только было замечено образование слоя льда. Своевременное применение горячей воды или пара обычно бывает достаточным для удаления только что образовавшегося льда. Следует отметить, что ходовые огни и навигационные средства очищаются первыми.

Ледяной покров создает особые условия для навигации и вызывает необходимость применять особые методы приемов судовождения. Одним из распространённых методов определения скорости судна во льдах является способ «планширного лага».



Рисунок 1.11- Обледенение судна



Рисунок 1.12-Устранение обледенения

### 1.3.2 Классификация отказов

Отказ- полная или частичная потеря работоспособности из-за отклонения от установленных норм одного или нескольких параметров изделия. Выделим некоторые виды отказов.

Внезапный отказ- отказ, характеризующийся скачкообразным изменением параметров изделия.

Постепенный отказ- отказ, возникающий из-за постепенного, как правило непрерывного изменения параметров.

При анализе отказов можно установить, что случайной величиной, которая описывает отказы, является время до отказа (наработка до отказа).

Наработка- продолжительность работы изделия, которая выражается в часах, циклах переключения и других единицах измерения в зависимости от вида и функционального назначения изделия.

Наработка до отказа- суммарная наработка изделия от момента вступления в работу до возникновения первого отказа.

Примерно в 80% случаев отказы дают о себе знать в виде отказа комплектующих элементов.

В настоящее время обычно используют предположение об экспоненциальном распределении времени до отказа, при котором плотность распределения времени до отказа задается выражением

$$w(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \lambda > 0, t \geq 0, \quad (1.5)$$

где,  $\lambda$ - параметр распределения для рассматриваемых элементов, численно равный их интенсивности отказов.

Параметр  $w(t)$  обычно на практике не находит применения в качестве показателя надежности, но используется для определения показателя безотказности, о котором говорилось ранее.

### 1.3.3 Вероятность и интенсивность отказов

Отказ и безотказность- события противоположные. Именно поэтому при вычислении вероятности отказа за время  $t$  используют выражение

$$q(t) = 1 - P(t) \quad (1.6)$$

Но вероятность отказа также можно представить как

$$q(t) = \text{Вер}\{T < t\} \quad (1.7)$$

Рассматривая это выражение, можно прийти к выводу, что

$$q(t) = F(t) \quad (1.8)$$

где  $F(t)$ - функция распределения времени до отказа для времени  $t$ .

Теперь рассмотрим интенсивность отказа элементов и интенсивность отказа устройства.

Интенсивность отказа элементов- величина, численно равная

$$\lambda_i^* = \frac{n(\Delta t_i)}{N_{cPi} \Delta t_i} \quad (1.9)$$

где  $n(\Delta t_i)$ - количество элементов, отказавших в  $i$ -м временном интервале;

$\Delta t_i$ - ширина  $i$ -го временного интервала;

$N_{cPi}$ - среднее количество элементов, исправно работающих в  $i$ -м временном интервале.

Само значение  $N_{cPi}$  определяют по формуле

$$N_{cPi} = \frac{N_{i-1} + N_i}{2} \quad (1.10)$$

где  $N_{i-1}$  и  $N_i$ - количество изделий, исправно работающих к началу и концу  $i$ -го интервала.

Интенсивность отказа устройства определяют по формуле

$$\lambda_{pзy} = \frac{n}{\Delta t} \quad (1.11)$$

где  $\Delta t$ - время работы за рассматриваемый период;

$n$ - число возникших отказов за время  $\Delta t$ .

**Вывод:** в данной главе были приведены виды радиолокационных средств судоходства, рассмотрены требования к надежности и требования международных и национальных организаций, а также классификации отказов.

## **Глава 2. Аппаратно-программная реализация управления техническим обслуживанием систем автоматической радиолокационной прокладки**

### **2.1. Оценка ледовой обстановки с использованием судовых РЛС**

#### **2.1.1 Трудности, возникающие при обнаружении льдов судовыми РЛС.**

Во время плавания в условиях сложной ледовой обстановки возникают определенные сложности, затрудняющие обнаружение больших ледяных полей и айсбергов.

Факторами, снижающими эффективность работы судовых РЛС в Арктическом регионе, являются такие явления, как полярные сияния; преломление волн шапками ледников, приводящие к искажению приемного сигнала и ведущие к неверной идентификации обнаруживаемого объекта.

Значительное влияние на обнаружение льдов, мелких судов и островов оказывает субрефракция. При данном явлении коэффициент атмосферной рефракции уменьшается с высотой со скоростью, которая будет меньше, чем нормальная. Следовательно, изгиб у радиолокационного луча будет следовать кривизне земной поверхности, а лепесток диаграммы направленности радиолокатора стремится подняться выше поверхности воды, что ведет к уменьшению дальности радиолокационного горизонта. Субрефракция возникает в том случае, когда температура воздуха опускается ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Кроме этого, на обнаружения льда влияет такой фактор, как увеличенное зеркальное отражение радиоволн и уменьшенное рассеянное (диффузное) отражение. Поэтому плохо обнаруживаются гладкие ледяные поля и отдельные айсберги с пологими склонами. Плохо наблюдаются так же и гладкие ледяные поля. Наиболее сильный эхо-сигнал дает торосистый лед и отдельные торосы, отображаемые на экране РЛС в виде сплошных белых пятен.



### 2.2.2 Плавание во льдах

При плавании во льдах необходимо вести расчеты пройденного пути. Делается это для того, чтобы после выхода судна в чистые воды оно, из-за потери ориентировки, не оказалось в затруднительном положении.

Для расчета пройденного пути ведется запись времени изменений курса и скорости хода. Когда судно маневрирует, курс все время меняется. В таких случаях записывается средний курс за незначительный отрезок времени, когда отклонение судна от курса было небольшим или кратковременным.

Рассчитать скорость судна с помощью РЛС можно по формуле

$$v = \frac{360(D_1 - D_2)}{t} \quad (2.1)$$

где  $v$ - скорость;

$D_1, D_2$ - расстояние до льда;

$t$ - время.

При этом как ориентир выбирается хорошо просматриваемый эхо-сигнал льдины, которая находится прямо по курсу судна или по корме, подвижное кольцо дальности (ПКД) удерживается касательно этого эхо-сигнала. После чего рассчитывается два расстояния до льдины через определенный промежуток времени.

В том случае, когда нет эхо-сигнала льдин, находящихся прямо по курсу, используют эхо-сигналы в стороне от курса, также два раза рассчитывают расстояние через определенный промежуток времени и пеленги. После чего по линиям полученных пеленгов из центра планшета (в масштабе планшета) откладывают найденное расстояние и соединяют точки прямой линией. Длина полученной линии будет равна пройденному расстоянию за время наблюдений.

## **2.2. Судовые средства автоматической радиолокационной прокладки**

### **2.2.1 Классификация и назначение САРП**

В настоящее время современные радиолокационные станции имеют возможность одновременно обеспечивать радиолокационную прокладку и отображать видимые цели на дисплее.

В зависимости о степени автоматизации выделяют несколько средств радиолокационной прокладки. Перечислим их:

- электронные средства прокладки (ЭСП);
- средства автосопровождения (САС);
- средства автоматической радиолокационной прокладки (САРП).

Средства автоматической радиолокационной прокладки в настоящее время-это самые автоматизированные из всех трех видов. В комплексе с радиолокационной станцией САРП обеспечиваю безопасность судоходства. Это особенно актуально в тех районах, в которых наблюдается высокая интенсивность судоходства.

САРП представляет из себя комплекс радиолокационно-вычислительных систем, предназначенных для правильной оценки судоводителем ситуаций при встрече с другими судами и принятия решения по расхождению с ними.

В функции САРП входят:

- автоматический и ручной захват обнаруженных целей и их сопровождение;
- обнаружение эхо-сигнала надводных целей в пределах контролируемой зоны на экране САРП;
- индикацию на буквенно-цифровом табло основных параметров движения и элементов сближения цели;

- автоматическое счисление пути судна и определение суммарного сноса;
- проигрывание маневра курсом и скоростью для безопасного расхождения.

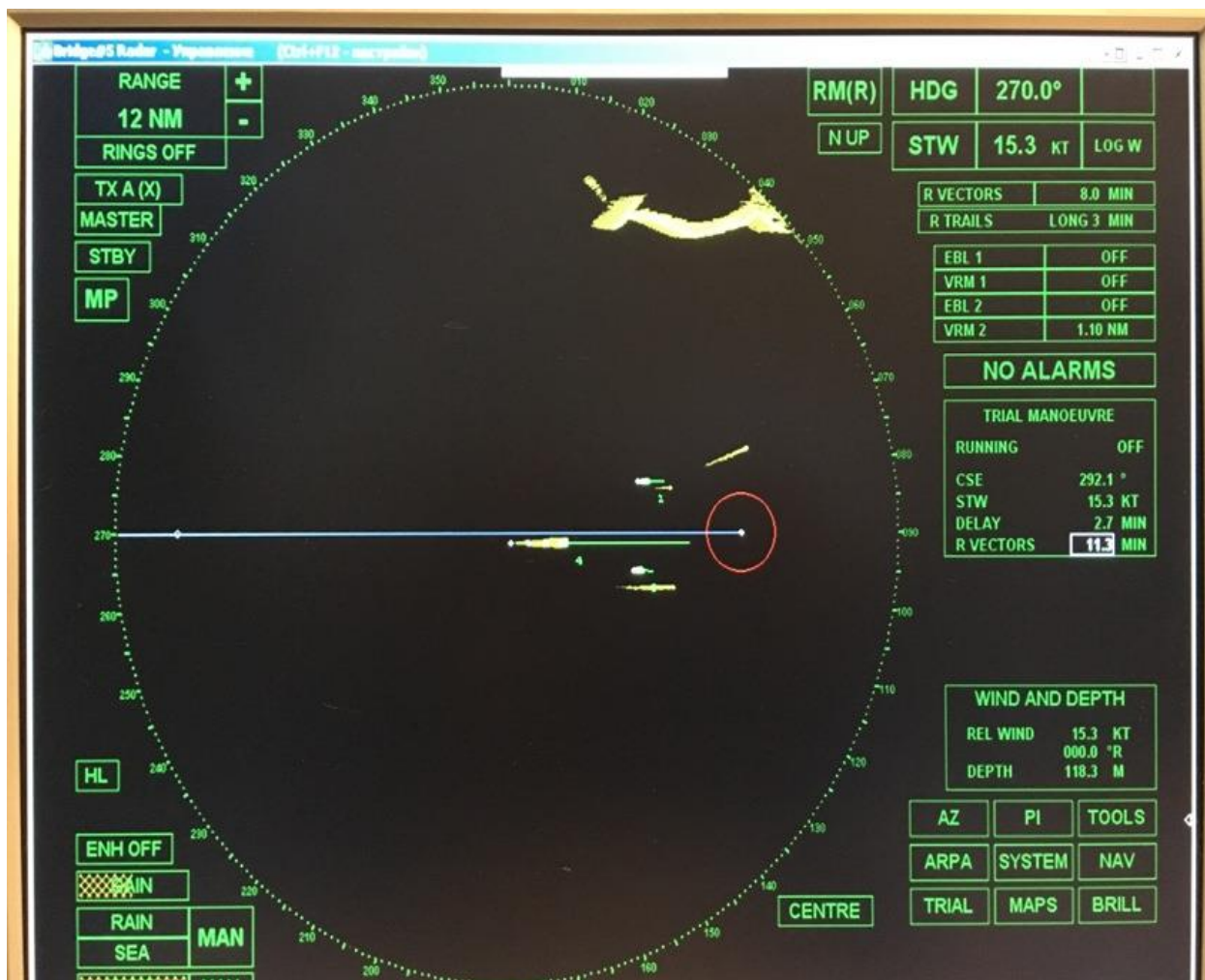


Рисунок 2.1- экран САРП

В настоящее время САРП классифицируют по методу накопления информации, по методу отображения первичной и вторичной информации и по принципу применения и использования. Рассмотрим каждую классификацию в отдельности.

САРП, основанные на методе накопления информации, включает системы, которые путем запоминания и отображения предыдущей

информации, выводят на экран траекторию прошлого движения цели (накопителем информации может служить бесконечная петля магнитной ленты или экран, покрытый люминофором с длительным послесвечением), а также системы с предоставлением прогнозируемой к определенному моменту времени информации о положении цели. Из этих двух систем наибольшее распространение получили системы с прогнозированием информации.

По методу отображения первичной и вторичной информации САПР включает в себя:

1. Системы, совмещающие отображение первичной и вторичной информации на экранах индикаторов кругового обзора (ИКО). Данные системы получили широкое распространение из-за возможности наблюдать на одном дисплее как первичную, так и выработанную цифровой вычислительной машиной (ЦВМ) вторичную информацию. Но при использовании данных систем возникают трудности точного совмещения первичной и вторичной информации.

2. Системы с отдельным представлением информации. При использовании этих систем становится невозможно осуществлять непрерывное наблюдение, так как первичная и вторичная информация отображены на разных экранах. Кроме этого, возникают проблемы при идентификации целей и их вторичной информации.

По принципу применения и использования САРП бывают автономными и составной частью системы комплексной автоматизации судовождения. Автономные САРП изготавливают в двух вариантах - автоматизированная РЛС или как отдельный автоматизированный радиолокационный индикатор, способный сопрягаться с судовыми РЛС.

### 2.2.2 Устройство САРП

В настоящее время существует множество технических реализаций САРП, но большинство устройств выполняет общие функции.

Почти все средства автоматической радиолокационной прокладки состоят из датчиков информации, сопрягающих устройств и устройств обработки и отображения. Рассмотрим каждый элемент по отдельности.

В качестве датчика информации в САРП выступают РЛС, лаги и гирокомпасы. В режиме автоматической прокладки основным источником информации выступают РЛС. Они передают информацию об окружающей обстановке, импульс синхронизации и курсовой угол антенны. Лаги и гирокомпасы, в свою очередь, предоставляют данные о скорости судна и его курсе. РЛС используют однодиапазонное и двухдиапазонные.

Данные о скорости и о курсе судна, поступающие от лага и гирокомпаса, после преобразования используют как для формирования вектора собственной скорости судна, так и для вычисления навигационных параметров наблюдаемой цели.

Если поступление информации от датчиков идет в аналоговой форме, то для того, чтобы ввести ее в цифровой процессор или вычислительную машину применяют сопрягающие устройства. Они преобразуют данные в дискретную форму, и вводят данные в цифровой процессор.

Сопрягающие устройства предназначены для перевода поступающей информации в цифровой процессор. От датчиков она поступает в аналоговой форме, и для ее перевода в дискретную форму и передачи в цифровой процессор применяются сопрягающие устройства.

К данным устройствам относятся:

1. Преобразователь курсового угла антенны. Он служит для преобразования углового положения антенны в последовательность импульсов или кодовую последовательность.

2. Квантователь, служащий для квантования видеосигналов по амплитуде и по времени.

Теперь рассмотрим устройства обработки и отображения информации. К ним относятся:

1. Первым типом устройства обработки информации является информационно-вычислительный канал. Данное устройство принимает и обрабатывает информацию и хранит ее, если эта информация понадобится для отображения. Кроме этого, ИВК включает в себя ЭВМ или цифровой процессор, устройство связи с другими каналами, устройство кодирования.

2. Второй тип устройств-это канал синхронизации. Он служит для синхронизации остальных каналов систем. Сигналы синхронизатора обеспечивают согласованную работу процессоров, обработку и отображение информации. Работой ИВК и других каналов управляют тактовые и управляющие импульсы канала синхронизации.

3. Канал видеосигнала формирует видеосигнал, смешивающийся с дополнительными импульсами и служебными метками, после чего подается на монитор для отображения.

4. Последний тип-это устройства, отображающие как первичную, так и вторичную информацию. Данное устройство состоит из канала развертки, канала управления и монитора с цифровым табло. Рассмотрим назначение каждого элемента по подробнее. Цифровое табло предназначено для отображения первичной информации; канал разверток служит для формирования напряжения, с помощью которого происходит отображение информации на табло; канал управления и контроля формирует сигналы, управляющие работой системы.

В каждой современной САРП отображение первичной и вторичной информации совмещено на одном экране.

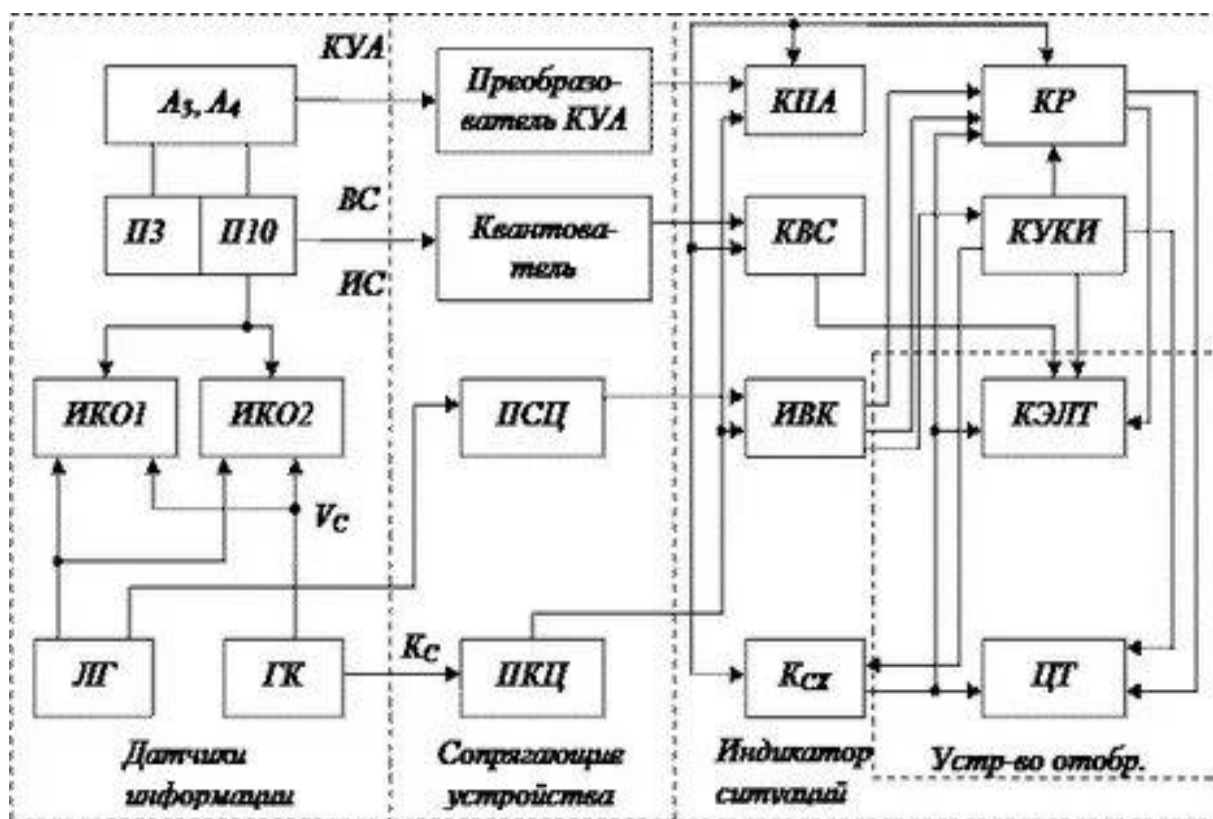


Рисунок 2.2- Устройство САРП

### 2.2.3 Режимы ориентации изображения САРП

В настоящее время во всех современных САРП предусмотрено три вида ориентации изображения. Рассмотрим эти режимы.

Первый режим называется «Курс». При данном режиме изображения окружающей обстановки ориентируется относительно диаметральной плоскости собственного судна. Отметка курса будет направлена на нуль азимутальной шкалы. Изображение при данном режиме будет разворачиваться по ходу движения судна. Главным недостатком этого режима является смазывание изображения, а это замедляет наблюдение за другими отметками цели.

Второй режим называется «Курс стабилизирован». Данный режим обеспечивает неподвижность отметок цели при поворотах и рысканьях собственного судна. Это связано с тем, что изображение окружающей среды в данном режиме остается неподвижным, а курсовая отметка смещается на тот же самый угол, на который смещается судно при отклонении от курса.

Как правило, данный режим используют как основной при плавании в районах лоцманской прокладки и в других случаях визуальной прокладки судна в узкостях.

Последним режимом ориентации изображения является «Север». Режим «Север» используется как основной при совершении плавания в открытом море и при прибрежном плавании. Последнее обусловлено тем, что главной задачей является обнаружение и распознавание берега и определения местонахождения судна.

#### **2.2.4 Ввод и индикация «электронных линий»**

На эффективность решения задач по предупреждению столкновения судов влияет наличие запрограммированных навигационных элементов в общем комплексе математического обеспечения САРП. Этими элементами являются: электронная линия, электронный фарватер, электронная карата.

Электронная линия- одна или несколько сопрягающихся прямых, отображаемых на экране САРП и построенных относительно начала развертки и радиолокационного изображения и стабилизированных относительно начала развертки.

Электронный фарватер- система параллельных электронных линий, построенных по заданному направлению и обозначающих границы полосы движения.



Электронная карта- система электронных линий и символов, отображающих основные элементы навигационной обстановки в районах плавания. Электронные элементы отвечают за отображение основных навигационных элементов, а электронные линии-линии фарватеров, районы якорных стоянок, запретные районы.

Если электронные линии и электронный фарватер строятся оперативно, то для построения электронной карты нужны подготовительные работы (предварительная прокладка, подбор ориентиров и т.д.). Поэтому электронная карта строится заблаговременно и хранится в памяти САРП.

Так как объем памяти запоминающих устройств ограничен, электронные карты, как правило, строят только для районов со сложной навигационной обстановкой.

Готовая электронная карта совмещается с наблюдаемой навигационной обстановкой на экране САРП путем сдвига всей карты без изменения ориентации. Если на карте предусмотрено большое количество ориентиров, то совмещение будет точнее и надежнее. Далее электронная карта стабилизируется относительно текущего места судна. Из-за того, что нельзя избежать погрешностей при автоматическом счислении, электронная карта «дрейфует»- картографические символы со временем сползают с соответствующих эхо-сигналов радиолокационных ориентиров.

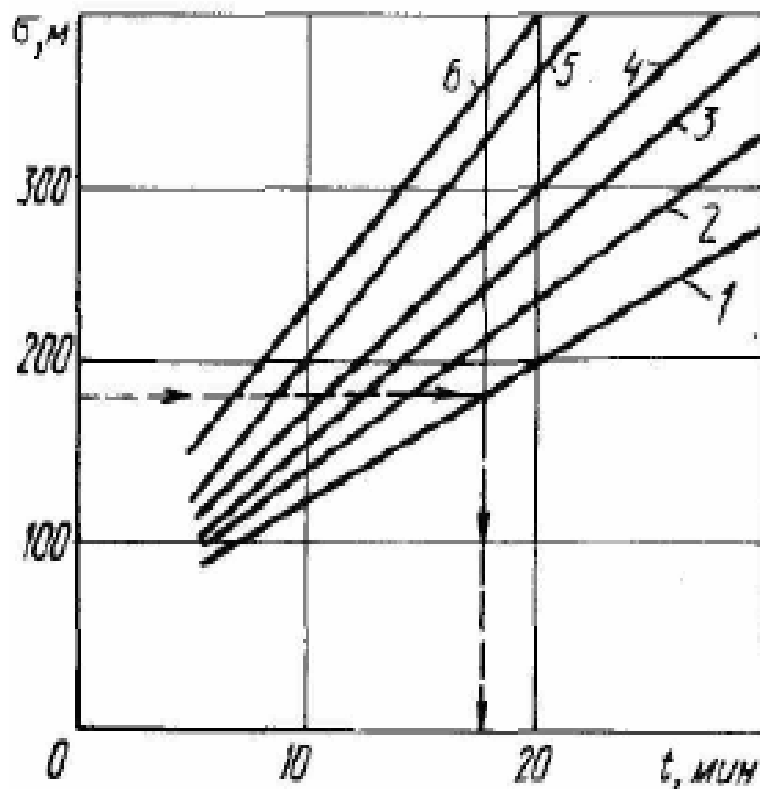


Рисунок 2.3-Погрешность стабилизации ЭК

Судоводитель обязан следить за точностью совмещения электронной карты с радиолокационным изображением. При обнаружении значительного смещения привести их согласование вручную. Максимально допустимый интервал коррекции определяется по формуле

$$\Delta t_{\text{корр}} = \Delta_{\text{др.доп}} / v_{\text{корр}} \quad (2.2)$$

где  $\Delta_{\text{др.доп}}$  -максимально допустимый дрейф электронной карты;

$v_{\text{корр}}$  - скорость дрейфа электронной карты.

Если проводка судна осуществляется при помощи представленного математического комплекса, следует обеспечивать начало развертки относительно оси фарватера в режиме истинного движения, а движения эхосигнала обозначенного ориентира по намеченной электронной линии в

режиме относительного движения. Это действие получило название глазомерной прокладкой судна.

Ширина полосы проводки судна рассчитывается по формуле:

$$B_{\Pi} = B_{\Gamma} + 2B_{\text{МАН}} \quad (2.3)$$

где  $B_{\Gamma}$ - геометрическая полоса, которую занимает корпус судна;

$B_{\text{МАН}}$ - маневренная полоса.

Два этих значение рассчитываются следующим образом:

$$B_{\Gamma} = 2B_{\text{С}} \left( 1 + \frac{C_{\text{Р}}}{20} \right) \quad (2.4)$$

$$B_{\text{МАН}} = \sigma_1 + \sigma_{\text{др}} + v \frac{\Delta C}{2} \left( t_{\text{о.з.м}} + \frac{\Delta C}{2\omega} \right) \quad (2.5)$$

где  $B_{\text{С}}$ - ширина судна;

$\sigma_1$ - замечаемое смещение судна относительно электронных линий;

$\sigma_{\text{др}}$ - дополнительная погрешность из-за дрейфа электронных линий;

$v$ -путевая скорость судна;

$\Delta C$ -погрешность принятой поправки на нос.

### **2.2.5 Выбор шкалы дальности и периодичность наблюдений**

Выбор шкалы дальности САРП зависит от условий плавания судна и от технических возможностей РЛС и САРП. Технические ограничения системы оказывают определенное влияние на оперативное изменение шкалы дальности.

Выбор шкалы дальности определяет дальность вероятного обнаружения эхо-сигнала цели (2.6) и запас времени судоводителя до сближения с целью (2.7).

$$D_{В.О} = D_{ШК} - \frac{v_{отн}\Delta t}{60} \quad (2.6)$$

$$t_{кр} = \frac{D_{В.О}}{v_{отн}} \cdot 60 = \frac{D_{Ш.К}}{v_{отн}} \cdot 60 - \Delta t \quad (2.7)$$

где  $v_{отн}$ -вероятная скорость относительного сближения судов;

$\Delta t$ -периодичность радиолокационного наблюдения.

При движении двух судов и в том случае, когда оба судна движутся с безопасной скоростью, вероятная скорость относительного сближения судов определяется по формуле:

$$v_{отн} = v_{н} + v_{ц} \approx 2v_{н^{\circ}} \quad (2.8)$$

Допустимая периодичность наблюдений

$$\Delta t_{max} \leq \frac{D_{обн} - D_{min}}{v_{н} + v_{ц}} \cdot 60 \quad (2.9)$$

где  $D_{обн}$ -дальность надежного обнаружения судов;

$D_{min}$ -минимально допустимое расстояния обнаружения судна;

$v_{ц}$ -вероятная скорость цели.

Выбирая шкалу дальности, следует помнить про тот факт, что эхосигнал одной и той же цели обнаружить легче на шкале меньшего масштаба, чем на большой шкале. Связано это с тем, что на шкале мелкого масштаба сигнал отображается ярче и занимает меньшую площадь.

Не стоит забывать и про тот, что в режиме относительного движения смазывание изображения незначительно на дальности от 16 миль и больше. Но на шкалах маленькой дальности четкость отображения изображения уменьшается.

Если плавание происходит в открытом море, то, как правило, наблюдение за радиолокационной обстановкой ведется на шкале средней дальности, равной 12-16 миль. Но необходимо время от времени

переключаться как на шкалу меньшей дальности, так и большей. Это необходимо для того, чтобы на меньшем масштабе обнаруживать и отслеживать малые суда, которые имеют малый эхо-сигнал. А на большем масштабе обнаруживаются сильные эхо-сигналы.

В стесненных водах применяются шкалы меньших дальностей (4-8 миль) с периодическим переключением на шкалы больших дальностей.

### **2.2.6 Принципы оценки ситуации**

Как только цель была обнаружена на экранах САРП или РЛС, начинается процесс обработки поступающей радиолокационной информации. Этот процесс необходим для того, чтобы судоводитель получил точные данные, позволяющие совершить маневр по расхождению с целью. После совершения маневра и расхождения с целью, обработка информации прекращается.

При обнаружении цели, судоводитель должен оценить опасность столкновения, используя все доступные методы. Итогом этой оценки является создание оперативного образа процесса расхождения (рис.2.2).

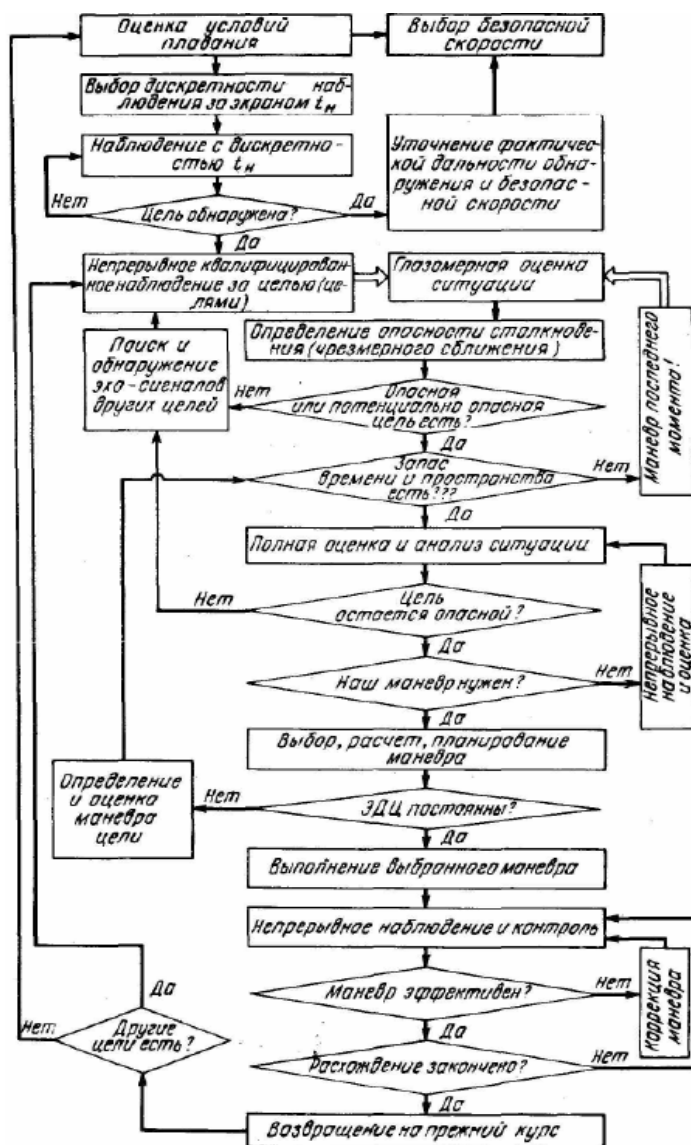


Рисунок 2.4- Блок-схема решения задачи предупреждения столкновения

РЛС и САРП, как и любые другие навигационные средства, имеют ряд ограничений, о которых будет сказано ниже. В связи с этим, полная оценка ситуации возможна только при оценке как первичной, так и вторичной информации.

С помощью первичной, или как еще ее называют необработанной информации, судоводитель способен заблаговременно выявлять другие суда, а также опасность столкновения. Во время оценки информации, определяются в первую очередь те цели, относительно которых собственное судно будет производить маневр.

После обработки САРП первичной информации получается вторичная или обработанная информация. Она предоставляется в виде векторов и цифровых данных, описывающих ситуацию сближения. С помощью вторичной информации судоводитель может определить насколько опасно столкновение с целью, а также выполнить маневр расхождения с ней.

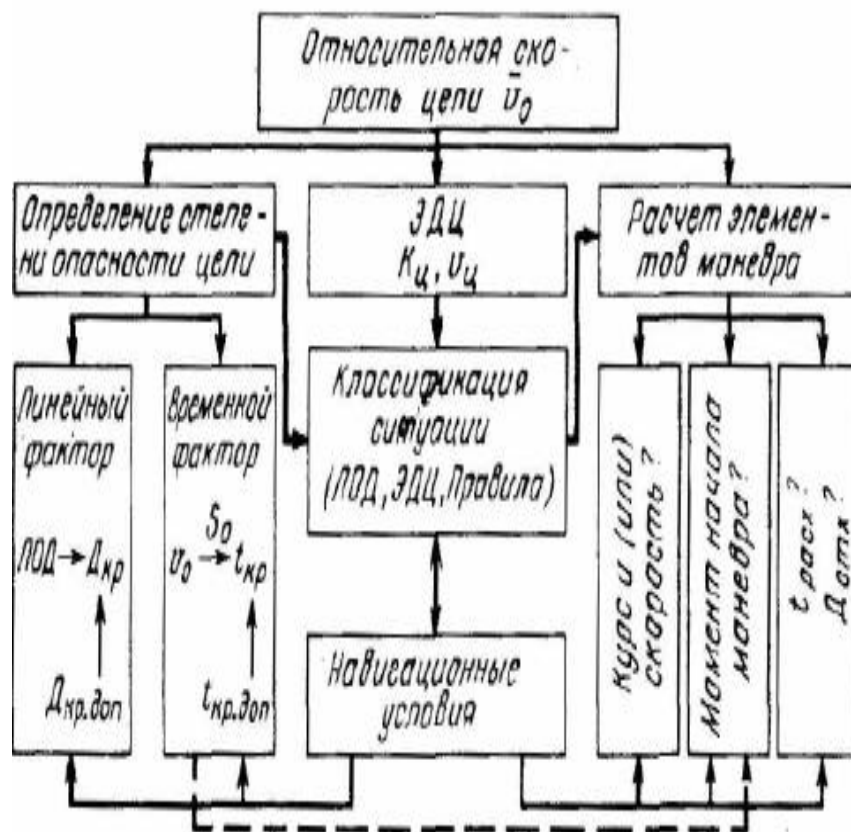


Рисунок 2.5- Блок-схема зависимостей, устанавливаемых при оценке опасностей цели и расчете маневра

Если наблюдаемых целей несколько, то сперва необходимо определить опасные цели. Цели называются опасными, если перемещение ее эхосигнала, в соответствии с установленными критериями, создает опасность столкновения.

Потенциально опасными целями называют те цели, перемещение эхосигналов которых не требуют проведения маневра расхождения, но такой маневр может стать необходим в будущем из-за опасного сближения,

маневра собственного судна при выполнении маневра расхождения, при маневре другого судна и т.д.

При оценке ситуации и опасность столкновения используют критерии:

- визуальный и радиолокационный пеленг цели и его изменение;
- радиолокационная дистанция до цели;
- курс и скорость цели;
- развитие ситуации опасного сближения наблюдаемой цели с другой целью;
- расчетное значение дистанции кратчайшего сближения и времени до момента сближения.

Приведенные критерии по отдельности не являются определяющим фактором при оценке опасности столкновения.

Одними из наиболее употребляемых критериев опасности цели в САРП являются допустимые значения дистанции  $D_{кр, доп}$  и время кратчайшего сближения  $t_{кр, доп}$ . Цель считается опасной, если вычисленные текущие значения дистанции и (или) времени кратчайшего сближения равны или меньше тех значений, которые были введены судоводителем как допустимые.

$$D_{кр,э} \leq D_{кр, доп}$$

и(или)

$$0 < t_{кр,э} \leq t_{кр, доп}$$

### **2.2.7 Принципы радиолокационного наблюдения**

Хотя применение радиолокационных станций никак не ограничено, в существующих нормативных и руководящих документах прописаны такие случаи, при которых применение РЛС необходимо.

Например, в условиях ограниченной видимости, в любых погодных условиях при входе в порт или выходе из него. Применение РЛС будет



уместным ночью даже при хорошей видимости, а также при плавании в прибрежных водах.

РЛС является неотъемлемой системой заблаговременного обнаружения целей и определения опасности столкновения. В условиях слабой видимости судоводитель лишается возможности получения визуальной информации. Поэтому в таких условиях САРП и РЛС являются основным источником получения информации об объектах, а также с их помощью выполняется маневр избежания столкновения.

Радиолокационное наблюдение не должно заменять зрительного или слухового наблюдения. Применение РЛС и САРП должно дополнять их, так как даже современные приборы не в состоянии заменить визуальный контроль за обстановкой.

Волнение моря, радиолокационные помехи и сложные метеорологические условия могут помешать обнаружению целей. Информация, выдаваемая САРП, при маневре наблюдаемой цели или собственного судна имеет большую погрешность. При визуальном контроле обстановки маневр цели отследить проще, чем при использовании РЛС.

При сложных условиях на мостике должно располагаться сразу несколько судоводителей. Если САРП в данный момент является главным источником информации, то у экрана САРП должен находиться тот, кто непосредственно управляет судном-капитан или старший помощник. Кроме этого, другой помощник должен вести наблюдение при помощи РЛС для того, чтобы при отказе САРП обеспечить непрерывное наблюдение за обстановкой. Если САРП в данный момент не является основным источником навигационной и радиолокационной информации, по указанию капитана за экраном САРП должен находиться один из помощников. Смену наблюдателей надо проводить только при условии, что на экране РЛС не наблюдается никаких целей.

Суда с плохой отражающей способностью могут быть обнаружены только на небольшом расстоянии. Из этого следует, что отвлечение наблюдателя от экрана РЛС или САРП может привести к столкновению из-за того, что данные суда не были вовремя обнаружены.

Использование РЛС наиболее эффективно, если наблюдение ведется непрерывно. При таком наблюдении эхо-сигнал цели будет обнаружен сразу после появления на радаре. Если радиолокационное наблюдение не ведется непрерывно, то эхо-сигнал может быть замечен значительно позже, что создает возможность столкновения.

Как было сказано ранее, САРП и РЛС имеют технические ограничения. При организации радиолокационного наблюдения судоводитель обязан принимать их во внимание. Например, эффективная дальность обнаружения целей зависит от мощности передатчика РЛС, чувствительности приемника, используемой частоты, характеристик наблюдаемой цели (размер, форма) и окружающей среды.

## **2.3. Обнаружение, захват и автосопровождение целей**

### **2.3.1 Автоматическое обнаружение**

Все современные САРП способны обеспечивать автоматическое обнаружение надводных целей в пределах контролируемой зоны на экране САРП. Границы зоны захвата должны быть показаны на экране САРП. Эти границы задаются охранным кольцом. Стоит сделать уточнение, что ни одна САРП не способна обеспечить 100%-ного обнаружения всех эхо-сигналов.

Автоматическое обнаружение может осуществляться двумя способами. Первый способ основан на обнаружении цели в момент пересечения эхо-сигнала цели охранным кольцом. Если цель пересечет ОК необнаруженной или ее сигнал будет потерян внутри ОК, то захват будет невозможен.

Во втором варианте захвата вся область, которая находится внутри заданного сектора, просматривается сканирующим кольцом. Данный метод позволяет не только обнаружить новую цель, но и найти потерянную ранее. Внешний предел действия сканирующего автообнаружения может ограничиваться только ОК, либо заданным постоянным пределом. Внутренний предел может устанавливаться судоводителем или, также как и внешний, быть фиксированным.

При захвате цели с помощью ОК, судоводитель задает его радиус в зависимости от условий плавания. При автоматическом захвате кольцо выдвигается на большую дистанцию. При этом судоводитель следит за всем полем обзора для поиска малых целей, которые могли быть не замечены САРП. Если захват осуществляется посредством двух ОК, внутреннее кольцо является фиксированным, а внешнее-переменным. Внешнее ОК выставляется на дальний поиск целей, а внутреннее помогает судоводителю в поиске малых целей.

### **2.3.2 Режимы захвата целей**

В современных САРП существует два метода захвата целей. Рассмотрим эти режимы поподробнее.

Первым методом- это режим автоматического захвата цели. Оператор устанавливает данные относительно размеров зоны поиска, после чего эта информация поступает в процессор САРП. Далее, в установленной зоне поиска, происходит поиск целей для установки автоматического сопровождения. В данном процессе судоводитель уже не участвует.

Данный режим является основным при плавании в открытом море, с тем условием, что нет осадков, которые бы затруднили данный процесс. Кроме этого, режим автозахвата применяется при плавании около береговой линии. В этом случае необходимо ввести линии запрета на захват.

Последним режимом является ручной захват целей. Судоводитель должен сам произвести отбор тех целей, которые следует поставить на автосопровождение. Режим ручного захвата выбирается основным, если наблюдаются значительные помехи или ухудшение погоды.

### **2.3.3 Автосопровождение целей**

Средства автоматической радиолокационной прокладки способны накапливать в себе информацию о каждой цели, которая находится на сопровождении. Затем происходит преобразование полярных координат в прямоугольные, получая тем самым линию движения цели (ЛДЦ).

Сглаживание должно обеспечивать максимальную точность данных за минимальный временной промежуток, а также быстрое обнаружение маневра цели. Но эти три требования одновременно выполнять не получится. Поэтому в САРП, как правило, применяется два режима работы. Первый режим называется переходным. При нем происходит непрерывное накопление информации, вследствие чего коэффициент сглаживания уменьшается. Во втором режиме, который называется установившимся, этот коэффициент остается постоянным.

Не стоит забывать про тот факт, что если у наблюдаемой цели эхосигнал слабый, автосопровождение может сброситься. Оно может восстановиться, но существует вероятность того, что векторное изображение цели будет принято за его маневр.

Потеря цели может произойти из-за ослабления отражаемого сигнала цели, входа цели в зону помех, в радиолокационную тень другого объекта, из-за резкого маневра цели.

САРП «RACAL-DECCA» является идеальным примером. Данная САРП обеспечивает сопровождение цели опираясь на введенные значения курса и скорости цели. Сопровождение не сбросится до тех пор, пока не

произойдет пропуск 6 эхо-сигналов подряд. При этом включится система, которая называется «плохой эхо-сигнал». В этом случае строб сопровождения будет увеличиваться и перемещаться со скоростью и курсом, соответствующим потерянной цели. Поиск потерянной цели будет продолжаться пока антенна РЛС не совершит 60 оборотов. При не обнаружении потерянной цели, автосопровождение сбрасывается, а если цель найдена-продолжится.

Прямолинейное и равномерное перемещение строба по вычисленной ЭДЦ может привести к тому, что цель будет потеряна, или же строб переключится на другой эх-сигнал, попавший в него в этот момент (обмен объектов, перехват).

Перехват происходит при попадании двух эхо-сигналов в один строб поиска, когда более слабый-эхо сигнал перекрывается более сильным сигналом. При этом при изменении курса сопровождаемой цели, ее строб будет сопровождать другой объект. Перехват на экране САРП выглядит как резкий маневр цели.

Если цель попадает в радиолокационную тень другого объекта или цели, произойдет так называемый обмен целей. Возникновение обмена целей чревато тем, что одна цель не будет сопровождаться, а вторая встанет на автосопровождение двумя каналами. При этом, такая цель будет иметь два вектора, один настоящий, второй ложный. После полного сглаживания произойдет слияние двух этих векторов.

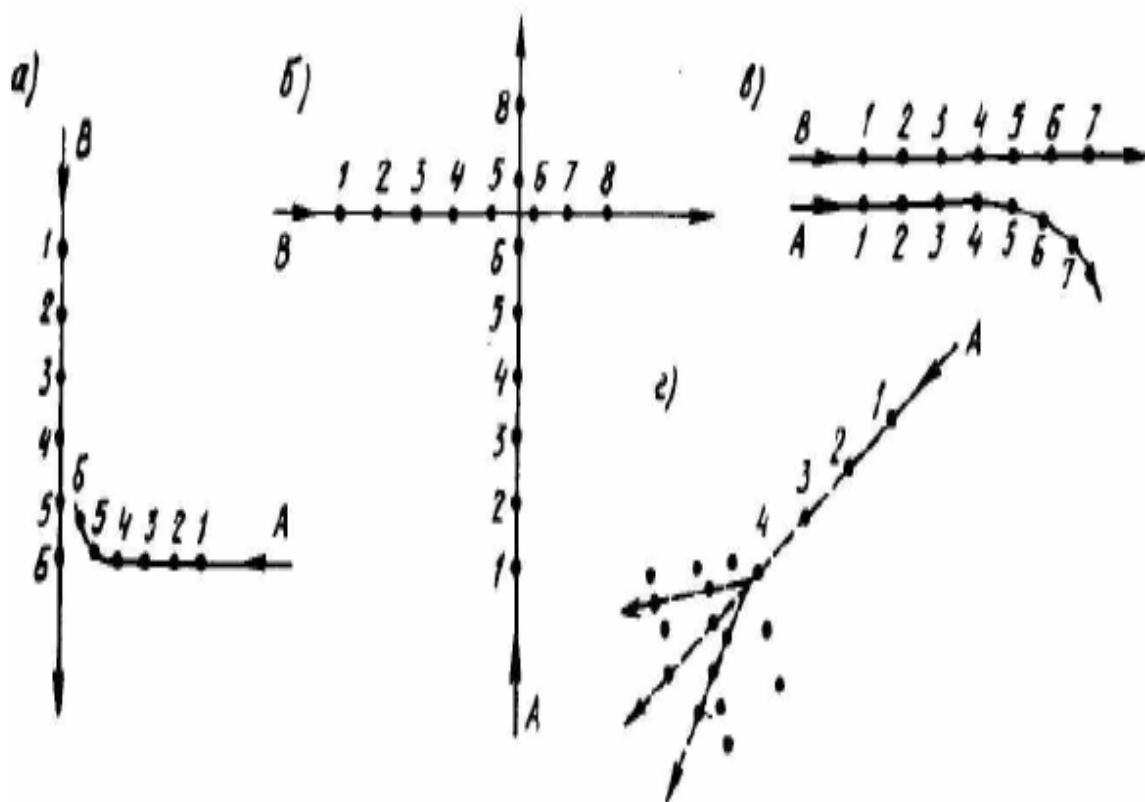


Рисунок 2.4. Отображение на экране САРП ситуаций перезахвата целей

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что сброс автосопровождения и потеря цели при пересечении строга сопровождения, когда несколько целей находятся близко друг к другу, является серьезным ограничением САРП. Цель может быть потеряна, либо автосопровождение будет сброшено. При этом, на экране САРП это будет выглядеть как маневр целей, что может привести к столкновению.

#### 2.4. Требования, предъявляемые к САРП

Говоря про САРП, нельзя не упомянуть про требования, выдвигаемые к данной системе. Международная морская организация (ИМО) является одной из основных организаций, в кодексе которой прописаны требования технико-эксплуатационным характеристикам САРП.

Рассмотрим основные требования ИМО к САРП:

1. Сопровождаемые и наблюдаемые цели на экране должны четко обозначаться маркером. В том случае, когда цель потеряна и не обрабатывается, обозначение маркера должно меняться.

2. При ручном захвате целей одновременно должно обрабатываться не менее 10 целей, а при автоматическом - не менее 20.

3. Для того, чтобы судоводитель мог представлять взаимное расположение целей наперед в заданный промежуток времени, параметры курса и скорости сопровождаемых целей должно отображаться как в режиме истинного, так и относительного движения.

4. Для любой сопровождаемой цели на экране индикатора или отдельном табло должны отображаться текущее расстояние до цели, текущий пеленг цели, вычисленные истинный курс и скорость цели, расчетная дистанция кратчайшего сближения и расчетное время сближения до кратчайшего сближения.

5. По требованиям ИМО в САРП должно быть предусмотрено применение сигнализации, указывающая на появление опасной цели, при пересечении целью охранного кольца и при сбросе цели с автосопровождения.

6. ИМО также требует наличие сигнализации, которая передает сигнал о неисправности какого-либо элемента САРП.

Это лишь небольшой список требований, выдвигаемых ИМО к САРП. С полным списком требований можно ознакомиться в руководящих документах ИМО.

## **2.5. Ограничения САРП**

Несмотря на все плюсы САРП, они имеют ряд ограничений. Как известно, САРП автоматически обрабатывает сигналы, поступающие от РЛС, следовательно, ограничения самой РЛС являются ограничениями САРП. К данным ограничениям относятся:

1. Ограничения, связанные с применяемой шкалой дальности.

2. Различные состояния моря, а также различные метеорологические условия (туман, дождь и т.д.) способны создавать различные помехи радиолокационному обнаружению целей.

3. Эхо-сигналы небольших судов могут не обнаруживаться.

Кроме этого, применяемые в САРП алгоритмы обработки информации накладывают дополнительные ограничения:

1. Любые САРП, даже самые совершенные, не дают гарантию, что все цели будут обнаружены и сработает автосопровождение. Из этого можно сделать вывод, что использование только режима автоматического сопровождения не является надежным радиолокационным наблюдением.

2. Если у цели неустойчивый эхо-сигнал, может произойти сброс цели, а информация по ней выдаваться не будет.

3. Как говорилось ранее, информация, поступающая от РЛС, гирокомпаса и лага поступает с некоторыми погрешностями. При наличии качки, помех и маневрировании погрешности увеличиваются.

4. Информация о сопровождающихся целях, поступающая в САРП, будет ненадежна после совершения маневра собственного судна.

5. Информация о маневре цели поступает с запозданием, а данные САРП относительно маневрирующих целей будут ненадежны примерно 4 минуты после его завершения.

## **2.6 Влияние погодных условий на работу РЛС**

К помехам РЛС можно отнести все воздействия, которые влияют на работу станции. Например, электромагнитные воздействия. На нормальную работу РЛС также влияют метеорологические условия. Рассмотрим некоторые из них.

Как говорилось ранее, дальность обнаружения снижает субрефракция, возникающая от быстрого уменьшения температуры. Кроме этого, туман или сильный дождь оказывают более существенное влияние на дальность обнаружения РЛС.



Помехи от волнения создают сильную засветку на экранах радиолокационных станций. Такая засветка опасна тем, что за ней могут скрываться сильные эхо-сигналы от различных объектов, с которыми может произойти столкновение. Интенсивность данных помех зависит от длительности излучаемых импульсов, то есть чем меньше длительность, тем меньше интенсивность.

Работа других РЛС также может привести к некорректной работе РЛС на собственном судне. Причем, такие помехи могут возникать, если на судне одновременно включены сразу несколько станций. Но для возникновения таких помех должно выполняться одно условие: РЛС, вызывающая помехи должна работать на той же частоте, что и РЛС, на которую влияют эти помехи. Внешне помехи от других радиолокаторов выглядят как серии точек и/или линий.

При наличии различных судовых преград в зоне сектора обзора РЛС возникают теневые сектора. При этом дистанции обнаружения целей снижается, а иногда объекты могут вообще не обнаруживаться.

**Вывод:** в данной главе было рассмотрено устройство, назначение САРП и его недостатки, были приведены технические возможности систем автоматического сопровождения целей. Кроме этого, были рассмотрены ограничения САРП и помехи, влияющие на радиолокационные наблюдения.

## Глава 3. Расчет маневра расхождения судов и времени расхождения при плавании в каналах и узкостях

### 3.1 Расчет маневр расхождения судов с использованием радиолокационной информации

#### 3.1.1 Роль САРП при расхождении судов

Оценка ситуации является полно только при анализе первичной и вторичной информации.

При выборе целей, анализ первичной информации производится глазомерной оценкой, как и при ручном захвате целей. Опасные и потенциально опасные цели для автосопровождения выбираются в первую очередь. Опасность целей оценивается по вторичной информации.

Используя САРП, при радиолокационном наблюдении судоводитель применяет следующие данные для оценки опасности сближения

- расположение вектора относительного движения относительно своего судна;
- значение  $D_{кр}$ ;
- значение  $t_k$
- курсовой угол;
- дистанция до цели.

Прогнозирование развития ситуации, осуществляемая путем измерения длины вектора цели, может предоставить дополнительную полезную информацию.

После того как маневр был выбран, производится проигрывание этого маневра в заданное судоводителем время начала маневра. Следует отметить, что при проигрывании маневра в САРП ситуация рассчитывается только для целей, которые были поставлены на автосопровождение.

При совершении маневра необходимо следить за векторами встречных судов, в том числе и за их прошлым положением. Это позволит заранее обнаружить их маневр, если такой будет совершен. Для своевременного

принятия соответствующих мер повышения безопасности, следует очень тщательно контролировать эффективность маневра собственного судна. А контроль за перемещением встречных судов ведется до полного возвращения на прежний курс.

### **3.1.2 Оценка обстановки и определения ЭДЦ**

Целью расчета маневра расхождения является предотвращение столкновения судов. В условиях ограниченной видимости согласовать действия судов бывает затруднительно. Поэтому правила, прописанные в МППСС, носят скорее рекомендательный характер, нежели строгий свод законов, придерживаться которых необходимо.

Выбор маневра расхождения зависит от ситуации. Он может включать в себя изменение скорости судна или его курса. Так как незначительное изменение этих параметров может затруднить восприятие радиолокационной информации судну, идущему на встречу, изменение скорости или курса должны быть значительными.

Изменение курса судна будет эффективен только в том случае, когда это изменение будет заблаговременным. Выбор стороны изменения курса лежит на капитане судна, но МППСС рекомендует:

- избегать курса влево при нахождении другого судна впереди траверза, если судно не является обгоняемым;
- избегать изменения курса в сторону судна, находящегося на траверзе или позади траверза.

Для построения маневра расхождения и для анализа обстановки судоводителями применяется маневренный планшет.

Порядок анализа обстановки, с использованием маневренного планшета, следующий:

- в центре маневренного планшета ставится точка К-местонахождение собственного судна;
- по измеренным с помощью радиолокатора пеленгу и дистанции наносятся не менее двух мест цели (точки обозначаются как М1, М2 и т.д.);
- по этим точкам проводят линию относительного движения (ЛОД1);
- на ЛОД1 из точки К опускается перпендикуляр КС1, равный кратчайшему расстоянию расхождения с целью  $D_{кр}$ .

При условии  $D_{кр} > D_{оз}$  считается, что угрозы опасного сближения нет и маневр проводить не нужно. Расчет маневра будет проводиться в дальнейшем при условии, что встречное судно изменит своей курс или свою скорость.

Если  $D_{кр} < D_{оз}$ , производится определение элементов движения цели:

- из точки К откладывается вектор скорости, равный скорости собственного судна  $V_k$ ;
- от конца полученного вектора проводится линия, параллельная ЛОД1;
- на этой линии строится вектор относительной скорости  $V_p$ , рассчитанный по формуле 3.1

$$V_p = \frac{M_1 M_2}{T_3 - T_4} ; \quad (3.1)$$

- затем соединяется точка К с концом полученного вектора, образуя вектор скорости  $V_M$ ;
- далее, по формуле (3.2), рассчитывается время сближения с целью

$$T_{кр} = \frac{M_3 C_1}{V_p} \quad (3.2)$$

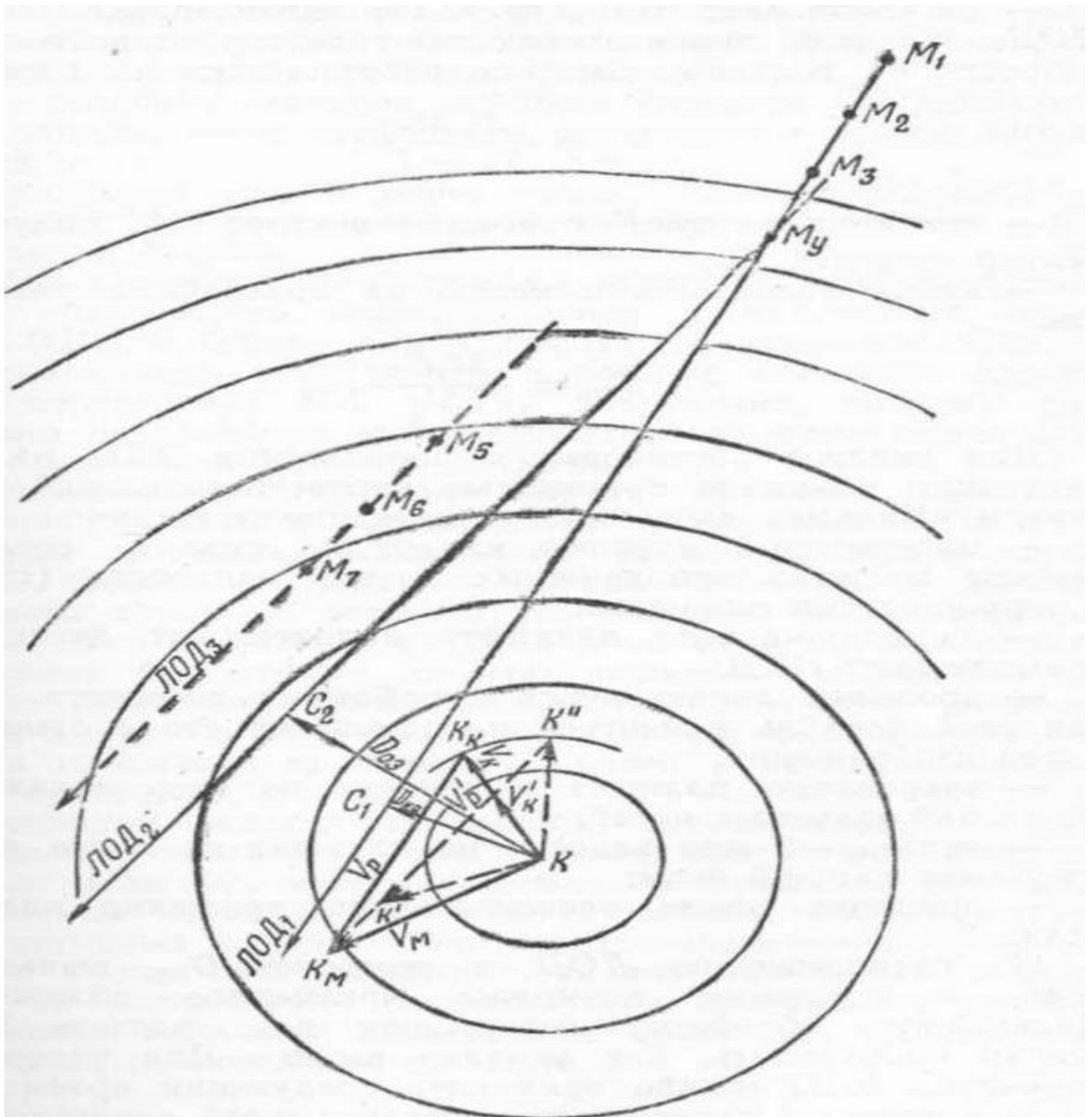


Рисунок 3.1- Анализ обстановки

Существует еще один метод анализа обстановки и определения ЭДЦ. Для этого применяют картосчислительную приставку «Пальма». Порядок действий, в данном случае, следующий:

- на маневренном планшете определяют масштаб неподвижных кругов дальности (НКД);
- на окружностях подписывают дистанции и выключают НКД;
- строят линию курса и совмещают с отметкой курса изображения;

- на планшет наносят первоначальное место наблюдаемой цели;
- каждые 1-2 минуты наносят несколько мест каждой цели;
- строят ЛОД каждой цели.

По ЛОД и  $D_{кр}$  определяют цели, с которыми возможно опасное сближение. Дальнейшая оценка ситуации производится по методу, который указан выше.

### 3.1.3 Расчет маневра расхождения с одиночной целью

Расчет маневра расхождения заключается в направлении ЛОД на безопасное расстояние от судна. Данный маневр невозможно предпринять сразу после получения последней точки наблюдения. Поэтому необходимо выбрать точку упреждения  $У$ , то есть точку, в которой встречное судно будет через определенный промежуток времени, когда собственное судно будет предпринимать маневр. Точка  $У$  выбирается произвольно, лучше всего ее устанавливать через интервал времени, который будет равен интервалу времени между наблюдениями. Как правило, интервал между наблюдениями принимается 3 минуты, следовательно точка  $У$  устанавливается через интервал, кратный 3 минутам.

Как говорилось ранее, угроза опасного сближения возникает, когда  $D_{кр} < D_{оз}$ . В данном случае необходимо изменить курс и/или скорость собственного судна таким образом, чтобы линия относительного сближения встречного судна или другой цели проходила через центр маневренного планшета на расстояние, большее чем  $D_{оз}$ .

ЛОД определяется направлением вектора относительной скорости, а сам этот вектор изменяется путем изменения вектора собственной скорости (рис. 3.2).

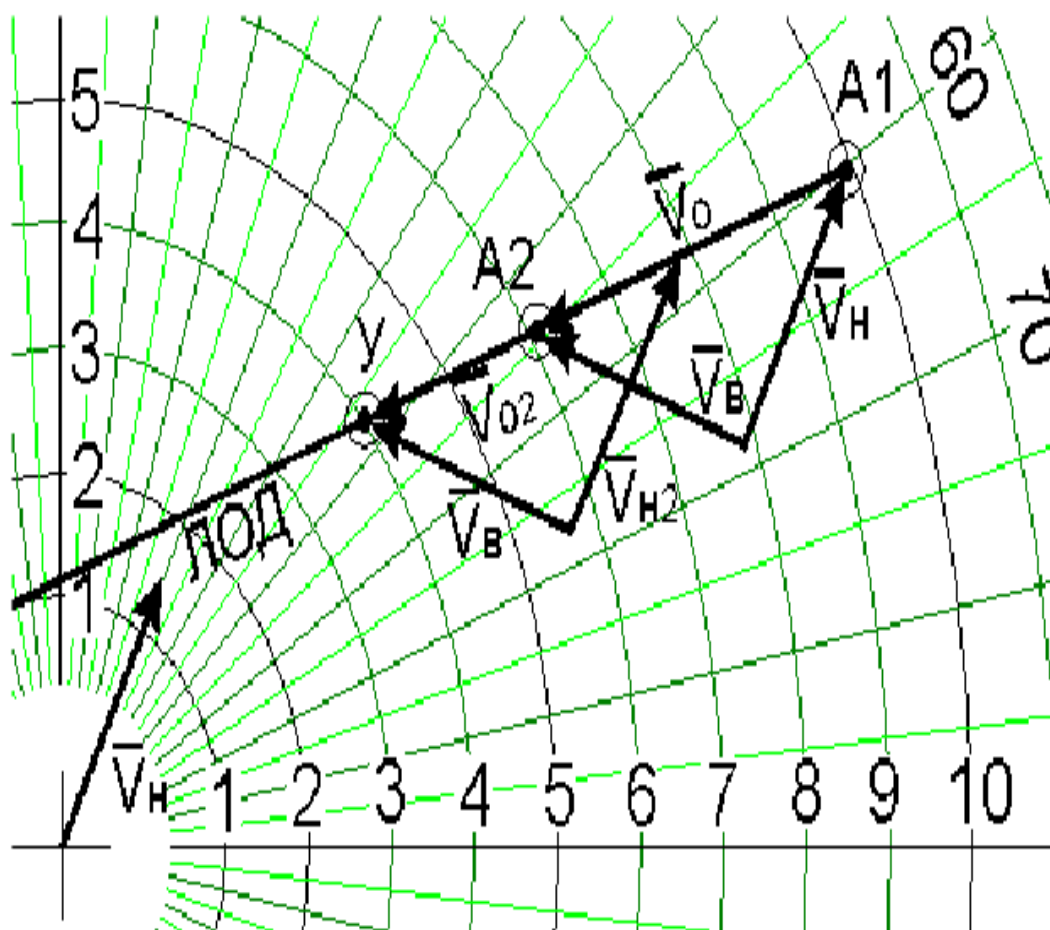


Рисунок 3.2. Вектор собственной и относительной скорости

Например, судоводитель принял решение о расхождении на дистанцию 3 мили. Следовательно, ЛОД должна пройти по касательной к окружности, равной дистанции 3 мили. Из точки У проводят касательную к 3-ильной дистанции, получая ожидаемую линию относительного движения (ОЛОД).

Для того, чтобы получить необходимый ОЛОД судоводитель должен изменить векторный треугольник таким образом, чтобы вектор  $V_0$  находился на ОЛОД. Для этого необходимо построить новый векторный треугольник при точке У. Порядок действия при этом следующий:

- в точку У без изменения переносится вектор скорости встречного судна  $V_B$ ;
- ОЛОД удлиняют вправо от точки У для того, чтобы построить вектор  $V_{02}$ ;

- после чего из вектора  $V_B$  откладывается вектор скорости собственного судна  $V_H$  таким образом, чтобы его конец лежал на ОЛОД.

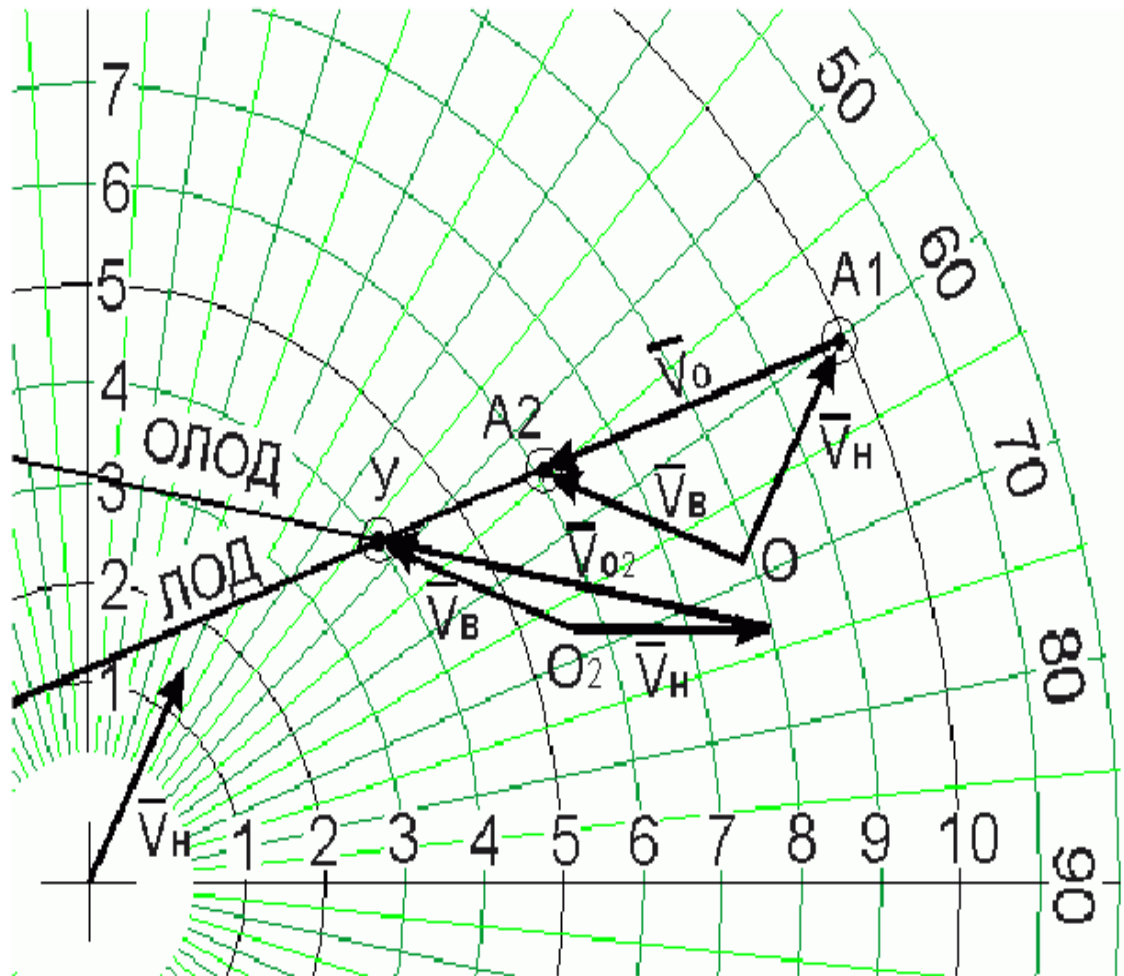


Рисунок 3.3. Найденный курс расхождения

Показанное направление вектора скорости собственного судна на рисунке 3.3 является необходимым курсом расхождения на заданной дистанции.

Но такой метод построения курса расхождения время затратный, поскольку необходимо выполнение расчетов, которых можно избежать. Кроме того, он сильно загромождает планшет.

Экономичный по времени вариант выполняется следующим образом:

- в точку A2 параллельно переносится ОЛОД;



- вектор  $V_H$  поворачивается относительно точки  $O$  так чтобы он лег острием на линию, которая параллельна ОЛОД.

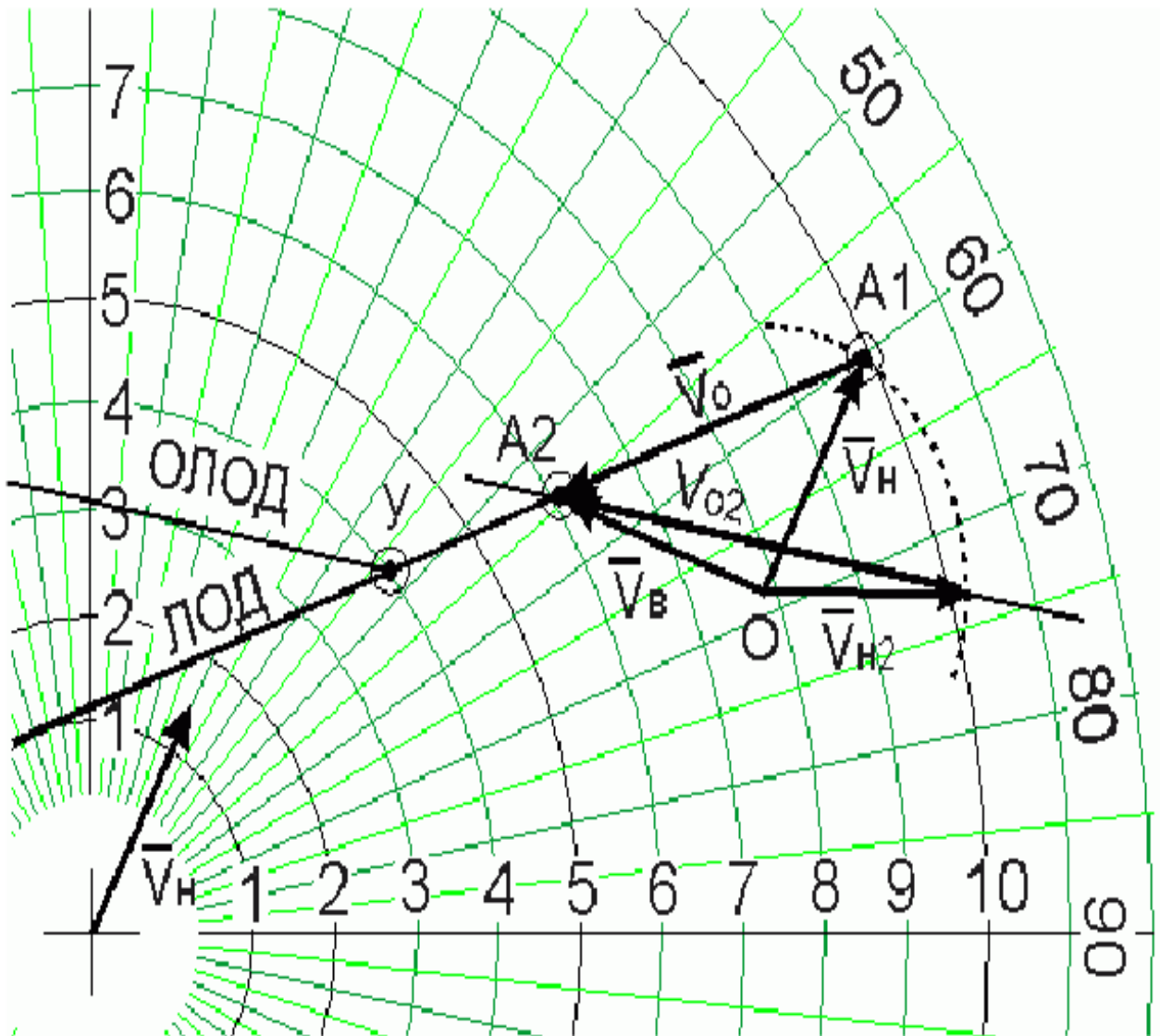


Рисунок 3.4- Второй вариант построения курса расхождения

Вектор  $V_{H2}$  показывает курс и скорость, которые должно иметь собственное судно после маневра чтобы разойтись со встречным судном на дистанцию 3 мили, при условии, что маневр будет совершен в токе У.

### **3.1.4 Расчет маневра расхождения с несколькими целями**

Маневр расхождения с несколькими целями- сложный процесс. Необходимость в нем возникает наиболее часто в районах с интенсивным судоходством. Данный маневр до определенного времени производится также как и с одиночной целью. Последовательность действий следующая:

- в первую очередь, на планшете наносится вектор скорости собственного судна;
- записываются пеленги и дистанции встречных судов;
- наносятся точки, обозначающие местоположения встречных судов;
- на эти точки переносятся параллельно вектора скорости собственного судна;

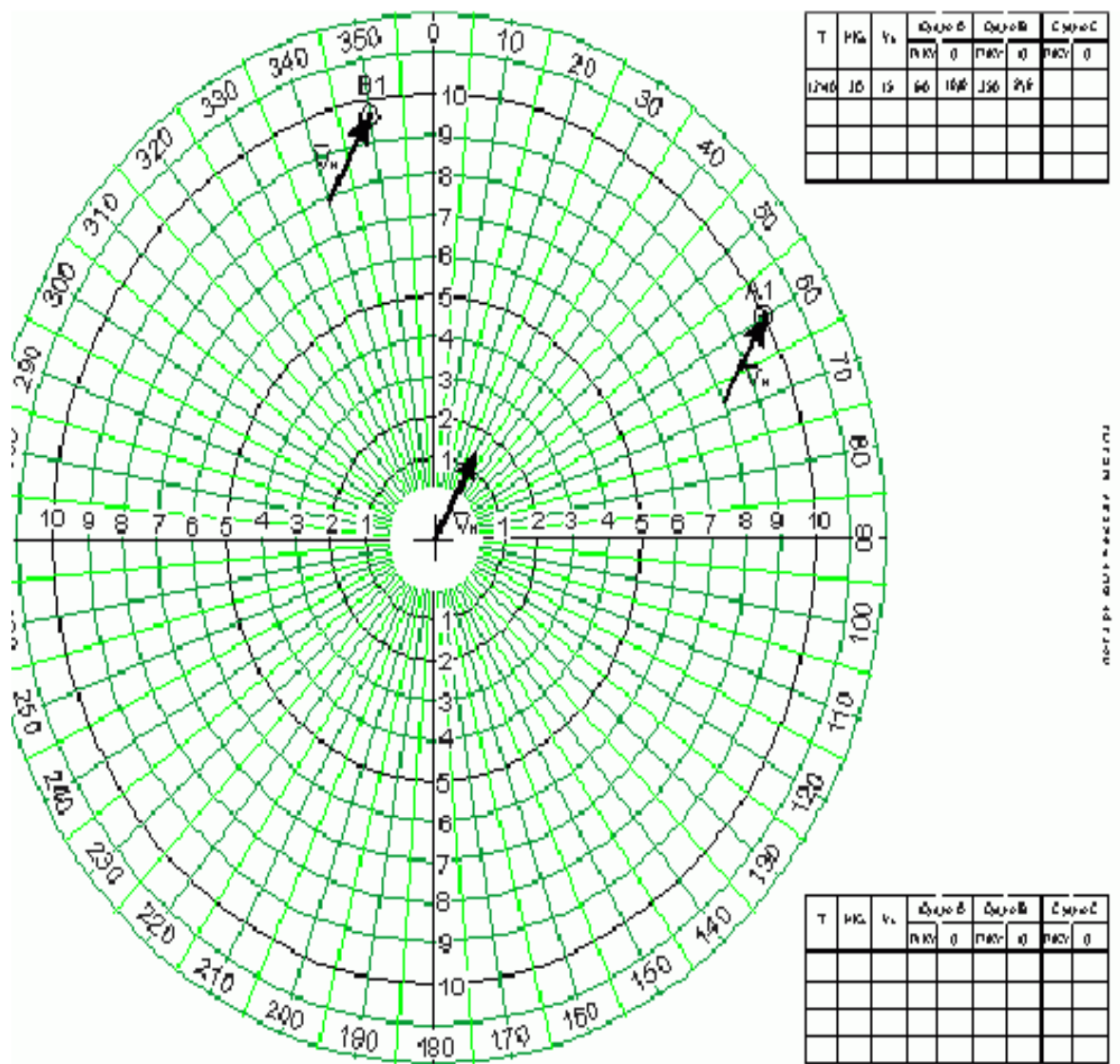


Рисунок 3.5- Нанесенные вектора скорости на точки

- два раза, через 3 минуты, повторяются 2 и 3 пункты;
- строится ЛОД для всех встречных судов;
- затем, также для всех судов, наносятся вектора  $V_B$  и  $V_0$ ;
- устанавливаются точки упреждения на ЛОДах;
- к заданной дистанции расхождения прокладываются ОЛОДы;

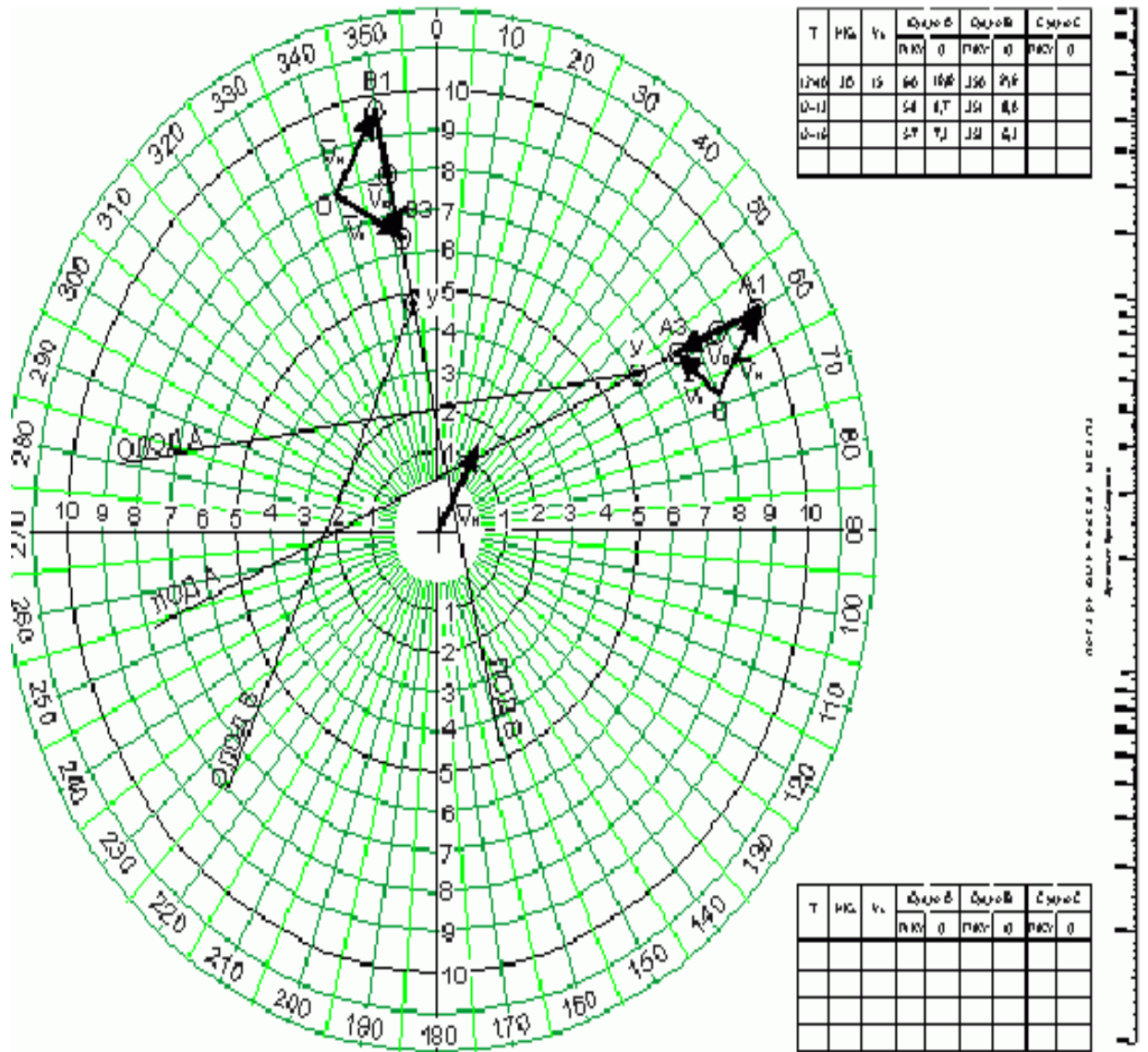


Рисунок 3.6- Построение новых ОЛОДов

- новые ОЛОДы параллельно сносятся в последние точки скоростных треугольников;
- вектор  $V_H$  в каждом скоростном треугольнике поворачивается так, чтобы его острие ложилось на снесенную ОЛОД;
- находятся новые направления и величины векторов скорости собственного судна, из которых выбираются те, которые способны обеспечить расхождение с каждым встречным судном на безопасном расстоянии;

- новый вектор  $V_H$  наносится параллельно в каждый скоростной треугольник;
- строятся новые вектора  $V_0$ ;
- прокладываются новые ОЛОДы, соответствующие векторам  $V_0$ ;
- во время, соответствующее точке упреждения, совершается маневр расхождения с занесением нового местоположения собственного судна в таблицу данных.

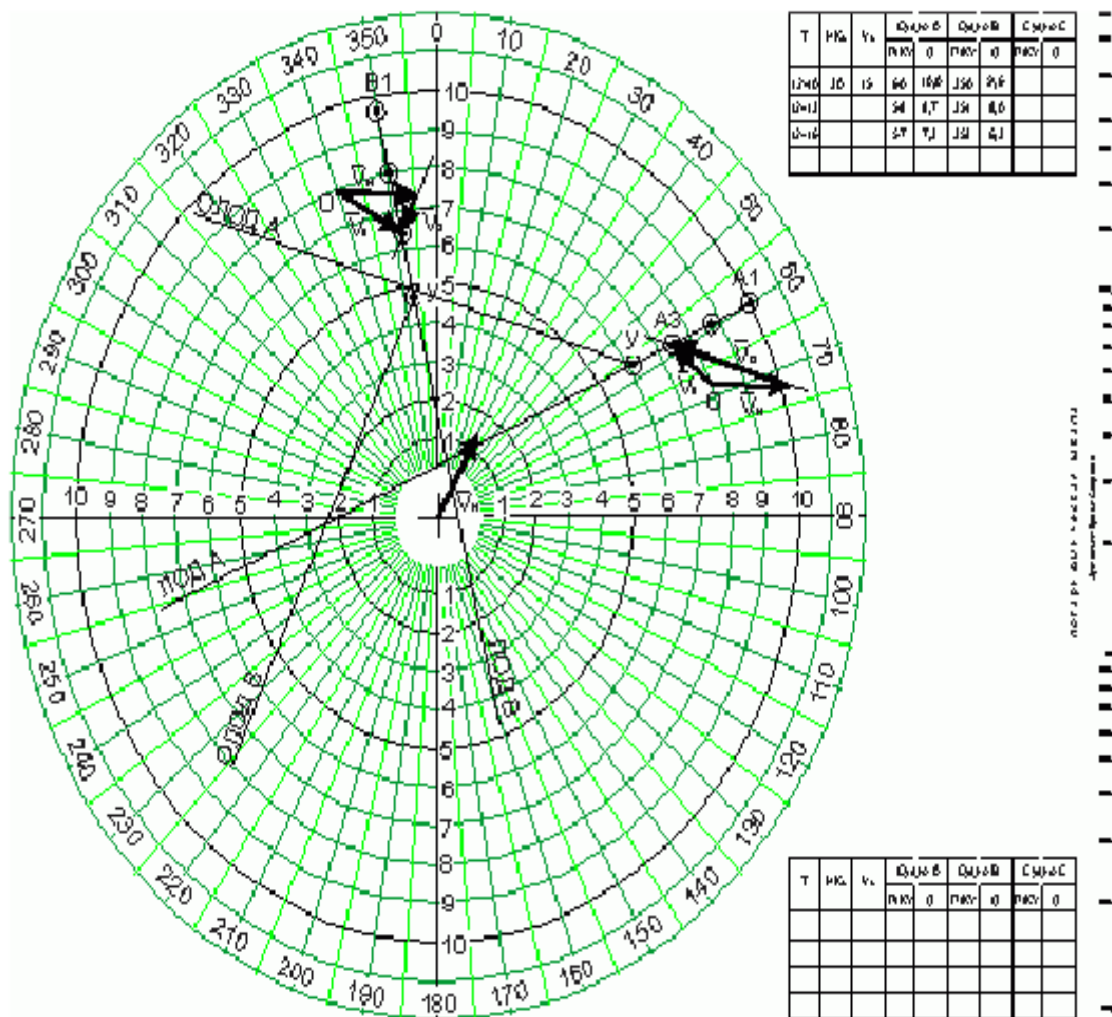


Рисунок 3.7- Построенный маршрут расхождения с несколькими целями

## **3.2. Расчет времени, необходимого для расхождения судов в каналах**

### **3.2.1 Расчет времени расхождения двух судов**

В первую очередь необходимо определиться с понятием узкости. В МППСС-72 не описаны критерии определения «узкий проход». Дано только само определение.

Узким проходом называется такой район водного пространства, в котором свободное маневрирование стесненно.

Узкостью называются части водного пространства, которые ограничены либо берегами, либо какими-нибудь другими навигационными опасностями. К узкостям относятся: каналы, устья рек, проливы, вод в порт.

Поскольку многие узкости являются территориальными водами различных государств, при плавании в них стоит руководствоваться национальными правилами, регулирующими судоходство.

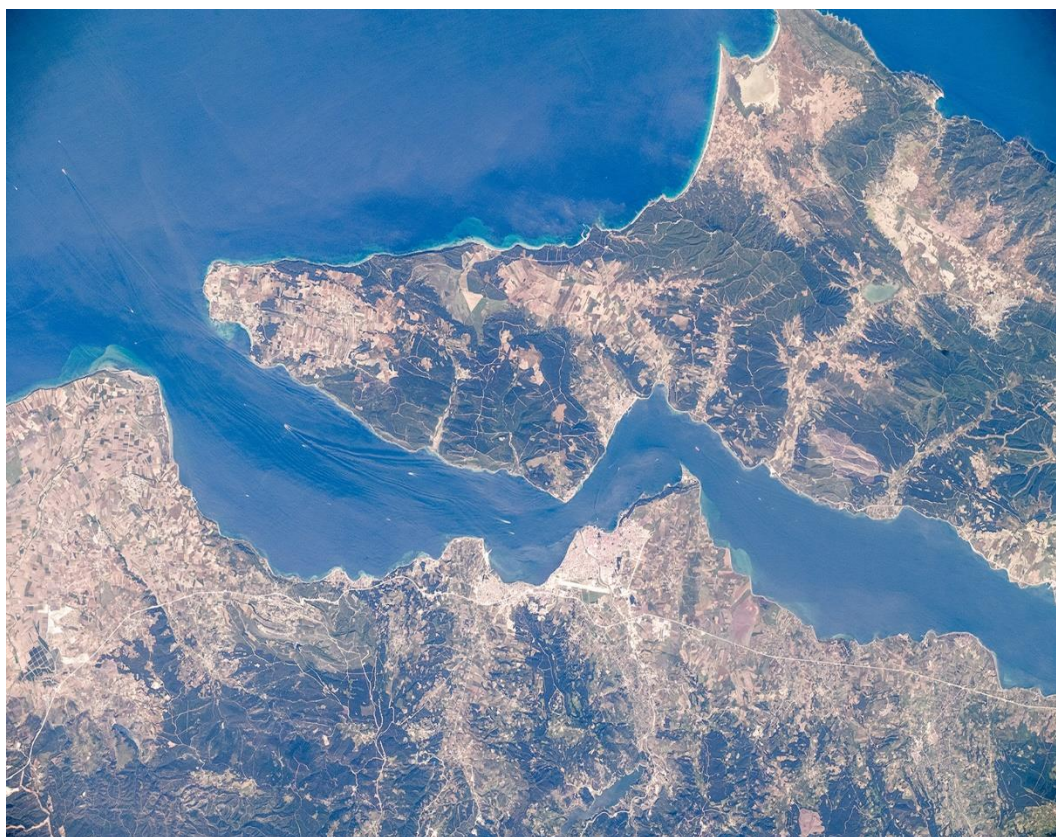


Рисунок 3.8-Пример узкого прохода

Расхождение судов производится в соответствии с правилами плавания по внутренним водам Российской Федерации. Согласно статье 136, два судна идущие навстречу должны изменить курс следования таким образом, чтобы разойтись левыми бортами.

При следовании судна по оси канала, гидростатическое давление на правый и левый борт равны  $P_{п.б} = P_{л.б}$ . Равны и скорости потока, обтекающего корпус судна  $V_{2п.б} = V_{2л.б}$ . Следуя правилам, суда должны отклониться вправо, на сколько это возможно. Маневр расхождения выполняется на малых скоростях, так как чем меньше скорость судна, тем сильнее оно может отклониться от оси канала. При отклонении судна от оси канала меняется гидростатическое давление и скорость обтекания  $P_{п.б} > P_{л.б}$  и  $V_{2п.б} > V_{2л.б}$ . Появляется гидравлический момент, который стремится направить судно вдоль оси канала. При сильном отклонении может возникнуть ситуация, когда гидростатическое давление и скорость обтекания на правый борт будут больше, чем на левый. В данном случае, судно перестанет слушаться руля и развернется поперек судового хода из-за так называемого гидравлического прыжка.

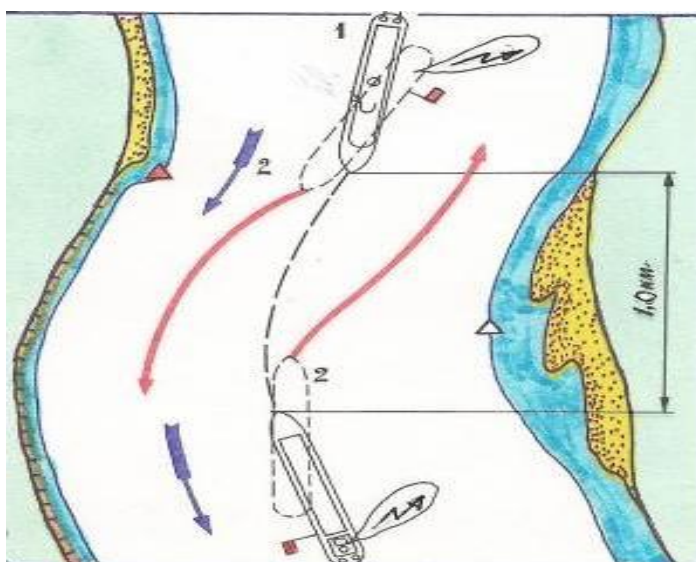


Рисунок 3.9-Расхождение судов в канале

При сближении носовой части обоих судов, между боковыми частями образуется зона повышенного давления. Она зависит как от расстояния между судами, так и от расстояния между откосами канала. Если суда сильно приблизятся к откосам канала, то нос каждого из судов будет отклоняться от откосов в сторону оси канала из-за разностей уровня воды и гидростатического давления. При сближении судов друг к другу, нос каждого судна будет отклоняться в сторону откоса канала.

Предположим, что два одинаковых судна идут на встречу друг другу. Длина и скорость этих судов равны  $L_1 = L_2 = 145$  метров,  $V_1 = 17$  км/ч = 4,72 м/с.,  $V_2 = 15$  км/ч = 4,17 м/с. Для нахождения времени, которое потребуется для расхождения судов, сперва, находится скорость малого хода  $V_{м.х} = 50\%$  от  $V$ :

$$V_{1м.х} = 4,72 * 0,5 = 2,36 \text{ м/с} \quad (3.3)$$

$$V_{2м.х} = 4,17 * 0,5 = 2,085 \text{ м/с} \quad (3.4)$$

Время на расхождение находится по формуле:

$$t = \frac{L_1 + L_2}{V_{1м.х} + V_{2м.х}} \quad (3.5)$$

Подставляем в (3.5) данные, получаем:

$$\frac{145 + 145}{2,36 + 2,085} = 65,24 \text{ сек} = 1,1 \text{ мин}$$

### 3.2.2 Расчет маневра обгона

При обгоне судоводитель обгоняющего судна выбирает расстояние для обгона соответственно габаритам собственного и габаритам обгоняемого судна. Стоит помнить, что при сильном приближении к откосу канала, судно



потеряет управление и гидравлическим прыжком будет развернуто поперек судового хода.

Когда носовая часть обгоняющего судна поравняется с кормовой частью обгоняемого судна, гидростатический момент, который действует на обгоняемое судно, будет стремиться отбросить его корму на откос канала. Во избежание этого, судоводитель обгоняемого судна должен переложить руль вправо.

Скорость судов выбирается от общей критической скорости движения по каналу. Она определяется по формуле (3.6):

$$v_k = \sqrt{6 \cos \frac{\pi + \varphi}{3} - 2(1 - k)} \sqrt{g \frac{\Omega}{B}} \quad (3.6)$$

где  $\Omega$ - площадь живого сечения канала;

$B$ - ширина канала по зеркалу воды;

$k$ - коэффициент стеснения живого сечения канала.

Коэффициент  $\varphi$  находится по формуле:

$$\varphi = \arccos(1 - k) \quad (3.7)$$

Для определения критической скорости необходимо найти общий коэффициент стеснения:

$$k_{\text{общ}} = \frac{\otimes_1 + \otimes_2}{\Omega} \quad (3.8)$$

где  $\otimes_1$ -площадь мидель-шпангоута обгоняемого судна;

$\otimes_2$ -площадь мидель-шпангоута обгоняющего судна.

Площадь мидель-шпангоута судна равна произведению ширины к осадке судна и к коэффициенту полноты мидель-шпангоута:

$$\otimes = \beta VT \quad (3.9)$$

где  $\beta$ -коэффициент полноты мидель-шпангоута;

$B$ -ширина судна;

$T$ -осадка судна.

Для примера возьмем судна с длиной 145 м, коэффициент полноты мидель-шпангоута равный 0,95, отношение длины к ширине-8, ширины к осадке-4.

Для начала найдем ширину судов. Она равна отношению длины судна к отношению длины к ширине:

$$B = \frac{L}{8} = \frac{145}{8} = 18,125 \text{ м} \quad (3.10)$$

Осадка судна равна:

$$T = \frac{B}{4} = \frac{18,125}{4} = 4,53 \text{ м} \quad (3.11)$$

Теперь можно найти коэффициент полноты мидель-шпангоута. В (3.9) подставляем (3.10) и (3.11):

$$\otimes = 0,95 * 18,125 * 4,53 = 78 \text{ м}^2$$

Найдя коэффициент полноты мидель-шпангоута, найдем общий коэффициент стеснения. Площадь живого сечения канала примем равной 350,95.

$$k_{\text{общ}} = \frac{78 + 78}{350,95} = 0,444$$

Находим коэффициент  $\varphi$ :

$$\varphi = \arccos(1 - 0,444) = 56,22$$

Теперь можно найти общую критическую скорость, принимая ширину канала по зеркалу воды равную 80,9:

$$v_k = 1,461 \text{ м/с}$$

Найдя общую критическую скорость, можно найти эксплуатационную скорость. Для избежания увеличения сопротивления она должна составлять не более 0,9 критической скорости, т.е.  $v_э \leq 0,9v_k$ . Таким образом,  $v_э = 1,315 \text{ м/с}$ .

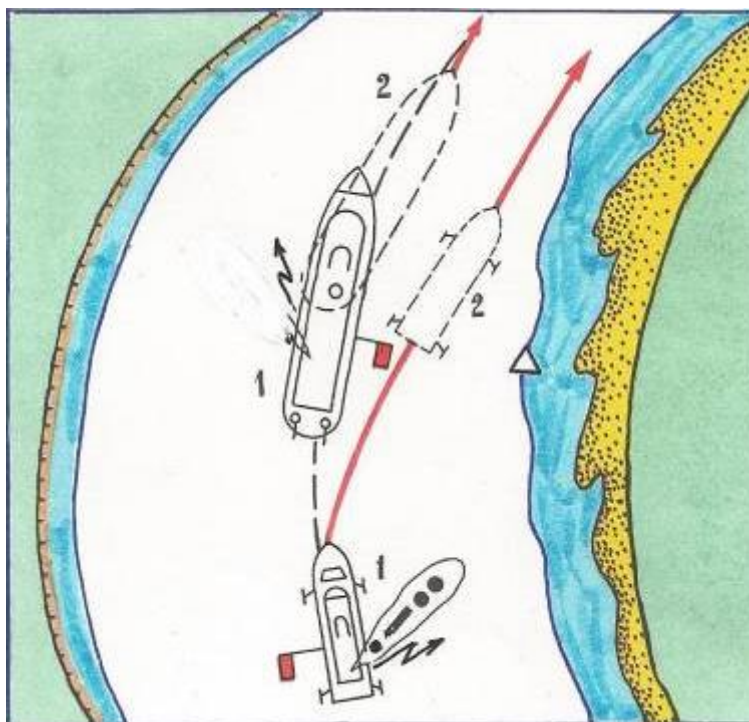


Рисунок 3.10-совершение маневра обгона

В том случае, когда обгоняемое судно уменьшает свою скорость до самого малого хода, который составляет 25% от эксплуатационной скорости, время для обгона будет рассчитываться по формуле:

$$t = \frac{L_1 + L_2}{v_2 - v_1} \quad (3.12)$$

где  $L_1$  и  $L_2$ - длина судов;

$v_1$  и  $v_2$ - скорости обгоняющего и обгоняемого судов.

Скорость малого хода обгоняемого судна будет равна:

$$v_{1м.х} = 0,25v_3 \quad (3.13)$$

$$v_{1м.х} = 0,25 * 1,315 = 0,329 \text{ м/с}$$

Скорость обгоняющего судна:

$$v_2 = v_3 - v_{1м.х} \quad (3.14)$$

$$v_2 = 1,315 - 0,329 = 0,986 \text{ м/с}$$

Теперь можно найти время обгона, подставив в (3.12) полученные данные:

$$t = \frac{145 + 145}{0,986 - 0,329} = 444,4 \text{ сек} \approx 7,41 \text{ мин}$$

**Вывод:** в данной главе был представлен порядок построения маневра расхождения с одной или несколькими целями. Был произведен расчет времени, необходимого для маневра расхождения судов в канале, а также посчитана скорость судов при маневре.

## Заключение

Целью данной работы было проанализировать автоматизированные системы управления техническим обслуживанием судовых устройств. В работе были выполнены следующие задачи:

1. Проанализированы радионавигационные средства судовождения, их устройство, предназначение.
2. Рассмотрены устройство, виды, назначение систем автоматического радиолокационной прокладки.
3. Представлен порядок построения маневра расхождения судна с одиночной и с несколькими целями. Произведен расчет времени, необходимого для проведения маневра расхождения в канале.

Подводя итоги работы, отметим ключевые моменты:

1. Средства навигации в данный момент на судне представлены в большом количестве. Судоводитель должен уметь грамотно и своевременно применять их и обслуживать.
2. РЛС является наиболее часто используемым средством навигации на судне. Но не стоит пренебрегать остальными системами.
3. САРП в настоящее время являются неотъемлемой частью судов. Данные системы значительно облегчают судоводителю работу.
4. Даже самые современные и совершенные САРП не обеспечивают стопроцентного обнаружения цели.
5. Судоводитель должен помнить, что данные, поступающие в САРП, поступают с погрешностью, которыми нельзя пренебречь.
6. При наличии современных средств навигации на судне судоводитель обязан быть хорошо подготовленным специалистом, способным действовать в том случае, даже когда один из элементов навигации выйдет из строя.

7. Принятие решения о совершении какого-либо маневра всегда остается за судоводителем. САРП всего лишь помогает судоводителю в принятии этого решения.

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод, что безопасность судоходства зависит как от грамотного комплексного использования судовых навигационных средств, так и хорошо обученного судоводителя.

## Список использованной литературы

1. Автономов, В.Н. Создание современной техники: Основы теории и практики / В.Н. Автономов. – М.: Машиностроение, 1991
2. Байрашевский А.М., Жерлаков А.В., Ильин А.А. Судовая радиоэлектроника и радиолокация. -Москва, «Транспорт» 1988.- 271с.
3. Боровиков С.М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств: учеб.-методическое пособие/ С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян; под ред. С.М. Боровикова. -Минск: БГУИР, 2010.- 68с.
4. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности: учеб. Для студ. Инж.-тех. Спец.вузов/ С.М. Боровиков.- Минск: Дизайн ПРО, 1998.-336 с.
5. Ведомственные строительные нормы. Указания по проектированию судоходных каналов. Введ. с 01.01.1972. М., Гос. изд-во литературы по строит., архит. и строит. материалам, 1972. 39 стр.
6. Грекул В. И., Денищенко Г. Н., Коровкина Н. Л.—Проектирование информационных систем: учебное пособие / 2-е изд., испр. — М.: Интернет-Университет информационных технологий (ИНТУИТ.РУ): БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
7. Дуров А. А., Кан В. С., Ничипоренко Н. Т., Устинов Ю. М. Судовая радиолокация. Судовые радиолокационные системы и САРП. Учебник для вузов. Изд. 2-е, переработанное и исправленное. - Петропавловск-Камчатский, КамчатГТУ, 2005. - 280 с.
8. История возникновения радиолокационных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/9-11568.html>.- Дата доступа: 22.02.2022.
9. Замятин А.Г. Особенности использования судовой радиолокационной станции для обеспечения безопасности судоходства

применительно к внутренним водным путям/ А.Г. Замятин [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2009.-76 с.

10. Использование радиолокатора на судне [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://flot.com/publications/books/shelf/shipnavigation/42.htm>. – Дата доступа: 19.02.2022.

11. Песков Ю.А. Практическое пособие по использованию САРП.-М.: Транспорт, 1955.

12. Правила технической эксплуатации судовой электрорадионавигационной аппаратуры. М., «Мортехинформреклама», 1984.

13. Правила технической эксплуатации речного транспорта РСФСР. М., "Речной транспорт", 1961.

14. Правила плавания по внутренним водным путям Российской Федерации: Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 19.01.2018 №19 (с изм. и доп. от 19 февраля 2019 г.)// Собр. законодательства РФ. -2019.

15. Практическое пособие по САРП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.sinref.ru/000\\_uchebniki/04600\\_raznie\\_2/971\\_praktika\\_sapr\\_1955/000.htm](https://www.sinref.ru/000_uchebniki/04600_raznie_2/971_praktika_sapr_1955/000.htm). – Дата доступа: 20.02.2022.

16. Радионавигационные приборы [Электронный ресурс]. – Режим доступа:<https://seaspirit.ru/navigator/navigation/radionavigacionnyye-pribory.html>.- Дата доступа: 22.02.2022.

17. Судовая радиолокация. Судовые радиолокационные системы и САРП: учебник для вузов. Изд. 2-е, переработанное и исправленное/ Дуров А. А., Кан В. С., Ничипоренко Н. Т., Устинов Ю. Петропавловск-Камчатский, КамчатГТУ, 2005. - 280 с.



18. Техническая инструкция по содержанию судоходной обстановки на внутренних водных путях. М., "Речной транспорт", 1962.

19. Турбаков, А.А. Электрооборудование судов /А.А. Турбаков, Н.А. Трошанов. – М.: Транспорт, 1973.