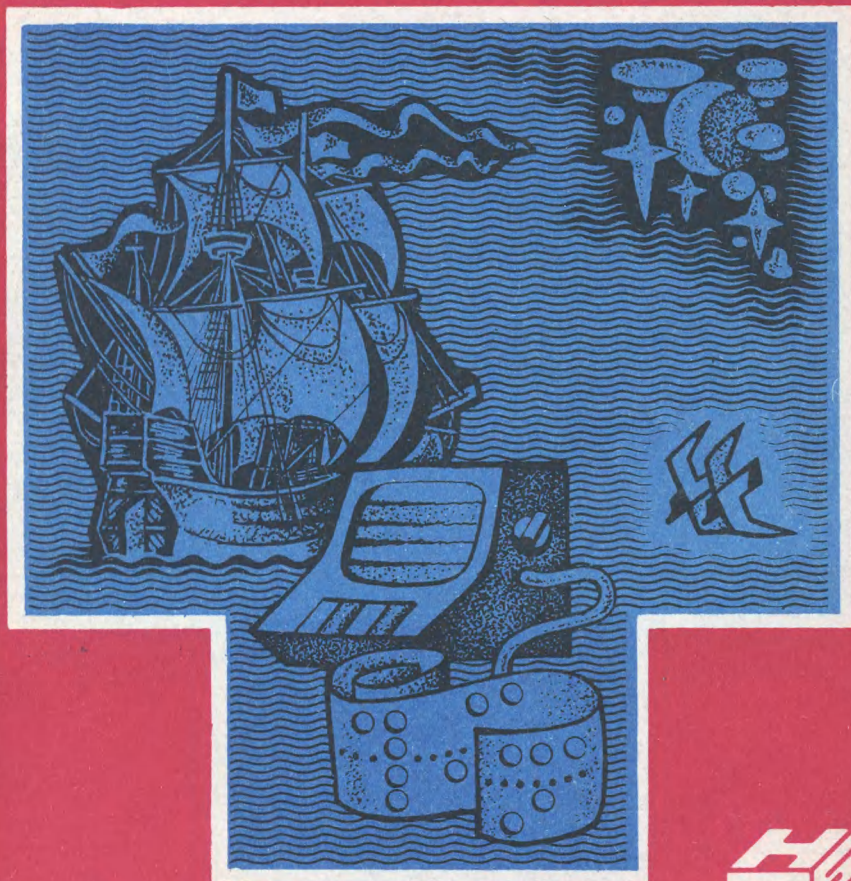


А.А. ХРЕБТОВ, В.И. КОРЯКИН,
В.Н. КОШКАРЕВ

Курс в океане



«СУДОСТРОЕНИЕ»

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА ШКОЛЬНИКА



НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА ШКОЛЬНИКА

Серия основана в 1986 году

А.А. ХРЕБТОВ, В.И. КОРЯКИН,
В.Н. КОШКАРЕВ

Курс в океане



ЛЕНИНГРАД «СУДОСТРОЕНИЕ» · 1988

ББК 39.471-5
X91
УДК 629.12.053/.054

Рецензент кап. дальнего плавания, д-р техн. наук, проф.
В. Т. К о н д р а ш и х и н

Хребтов А. А., Корякин В. И., Кошкарев В. Н.
X91 Курс в океане.— Л.: Судостроение, 1988.— 176 с.:
ил.— (Научно-популярная библиотека школьника).
ISBN 5-7355-0010-4

Впервые в популярной форме описаны устройства и основные навигационные приборы, которыми оснащено современное судно. Кратко освещены вопросы автоматизации судовождения и перспективы навигационного приборостроения.

Для старшеклассников, выбирающих профессию, а также учащихся ПТУ, морских кружков, клубов ДОСААФ, яхтсменов.

Х 3605030000-032
048(01)-88 70-88

ББК 39.471-5

ISBN 5-7355-0010-4

© Издательство „Судостроение”, 1988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Морские профессии всегда привлекали молодых своей романтикой, возможностью проверить силу духа и мужество в суровых испытаниях, в дальних морских и океанских походах. Кто из юношей не мечтает встать за штурвал корабля, увидеть себя на капитанском мостике, за пультом управления приборами и системами, обеспечивающими точное и безопасное плавание.

Эта книга предназначена для будущих моряков, она познакомит их с удивительным миром приборов, помогающих мореплавателям приводить судно к цели, несмотря на ветры и течения, штормы и ураганы.

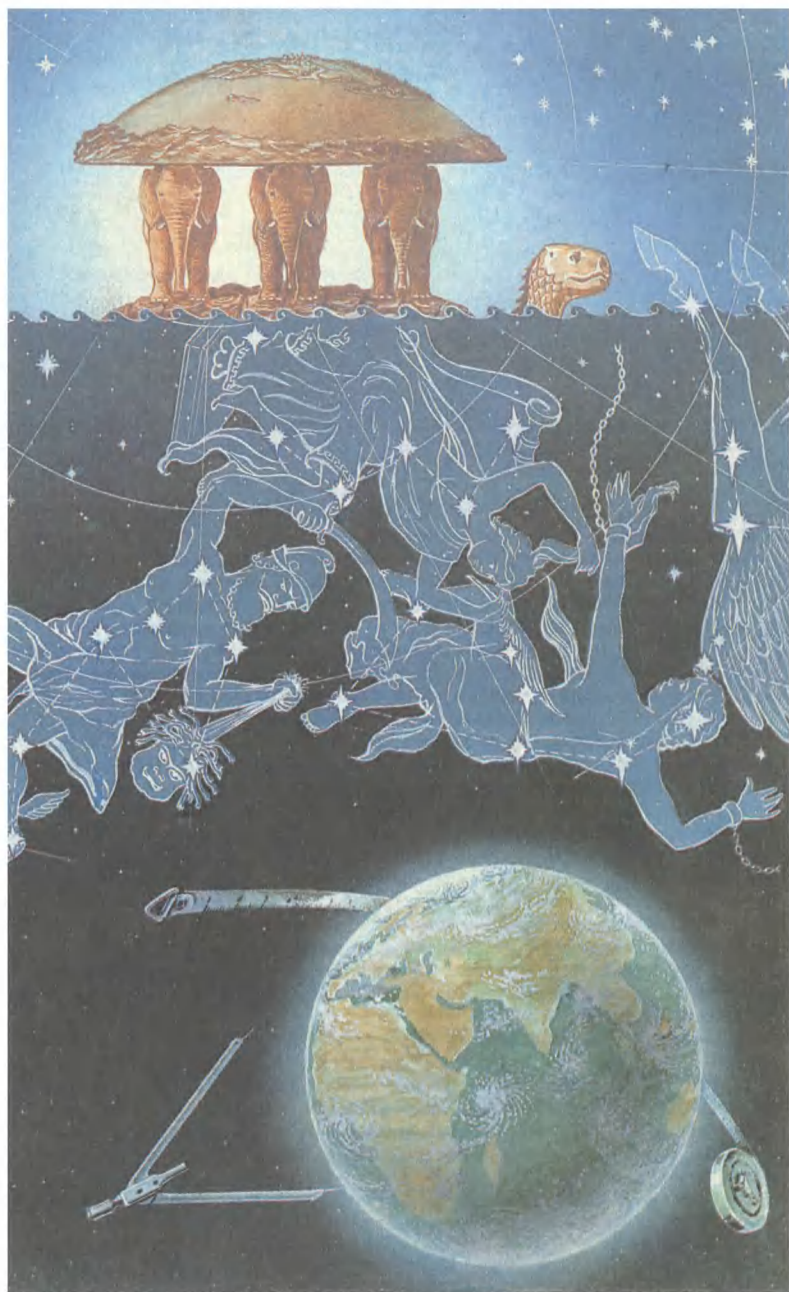
Начинается книга краткой историей создания мореходных инструментов и навигационных приборов, морских карт и пособий для плавания, рассказывает о том, как первые мореплаватели учились определять местоположение судна и проводить его по бескрайним морям.

Затем приводятся важные сведения о навигации, поясняющие устройство приборов и основные методы кораблевождения, описаны принципы построения и работы технических средств навигации, представляющих собой органическое слияние последних достижений науки и техники в гироскопии и гидроакустике, вычислительной технике и радиотехнике, космической навигации и радиолокации. Из книги можно узнать о назначении, устройстве и особенностях работы курсоуказателей, инерциальных навигационных систем, измерителей скорости и глубины, приемондикаторов радиотехнических и спутниковых навигационных систем.

Заканчивается изложение описанием автоматизированных навигационных комплексов, созданных на основе вычислительной техники, и перспектив их развития. Здесь же можно познакомиться с оборудованием штурманской рубки современного судна — рабочего места штурмана и с его деятельностью во время несения вахты.

При написании книги и ее подготовке к печати авторы получили много полезных советов от своих коллег по работе и выражают признательность И. Б. Рудометовой и художнику-оформителю В. Н. Житникову за помощь при оформлении рукописи.

Рекомендации, предложения и замечания просим присылать по адресу: 191065, Ленинград, ул. Гоголя, 8, издательство „Судостроение”.



1

НЕБОЛЬШОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ В СУДОВОЖДЕНИЕ

§ 1. ТОЧНОЕ И БЕЗОПАСНОЕ ПЛАВАНИЕ — ЗАДАЧА СУДОВОЖДЕНИЯ

Судовождение в самом широком смысле слова — это наука о безопасном и экономичном плавании судов в море.

Отправляясь в путешествие из одного города в другой по суше, мы редко задумываемся о том, что можем сбиться с пути. Заблудиться на автомагистралях, связывающих наши города, сейчас почти невозможно: вдоль шоссе проставлены знаки с указанием расстояния до того или иного пункта и с названием городов и поселков. Кроме того, любую нужную информацию можно получить в придорожном посту ГАИ.

А как ориентироваться в открытом океане, где нет проложенных дорог, дорожных указателей, километровых столбов?

Каким бы судно ни было — малым каботажным, плавающим на небольшие расстояния вдоль берегов, или большим океанским лайнером, совершающим трансатлантические переходы, перед капитаном стоит главная задача — точно и вовремя привести судно в назначенное место и при этом избежать всех опасностей, которые могут встретиться на его пути. А такими опасностями для любого судна могут быть мели, встречные суда, айсберги, подводные скалы, острова, рифы и т. п.

Решить эту задачу помогают капитану и его помощнику-штурману морские навигационные карты (от лат. *navigatio* — судоходство, мореплавание), пособия и специальные приборы.

Что такое морская карта и чем она отличается от обычной?

Любая карта — это условное отображение, „лицо“ земной поверхности. Наиболее точно земная сферическая поверхность изображена на глобусе. Материки, океаны и моря относительно друг друга расположены на нем правильно, их очертания соответствуют тем, что существуют в природе. Однако глобус не пригоден для мореплавания. Для верного отображения пути судна необходимо представление земной поверхности в крупном масштабе, т. е. потребовался бы глобус диаметром в десятки метров.

Штурману нужна плоская карта, которую без труда можно расположить на столе, и достаточно подробная для обеспечения безопасности и точности плавания. Но как на плоском листе бумаги представить часть сферической поверхности Земли так, чтобы неизбежные искажения пропорции материков и океанов были минимальны и не мешали точно ориентироваться, чтобы линия курса на карте изображалась прямой линией, а углы на карте были равны углам на поверхности Земли? Над этой задачей картографы работали давно и изобрели немало способов условного изображения — картографических проекций поверхности Земли на плоскости.

Наиболее приемлемой для мореплавания оказалась прямоугольная *меркаторская проекция*. Она была предложена в 1569 г. голландским картографом Герардом Меркатором (1512—1594) и явилась крупнейшим открытием, во многом способствовавшим успешному развитию мореплавания и картографии.

Если посмотреть на глобус, то можно заметить, что его поверхность покрывает сетка меридианов и параллелей. Меридианы, т. е. окружности, идущие с севера на юг, сходятся у полюсов, а расстояния между параллелями, т. е. окружностями, проходящими с востока на запад параллельно экватору, остаются неизменными.

Поместим такой глобус внутрь цилиндра (рис. 1,а) так, чтобы последний своей образующей касался экватора, а его ось совпадала с осью Земли. Спроектируем из центра глобуса изображения земных меридианов и параллелей на поверхность этого цилиндра, а затем разрежем его по образующей и развернем на плоскость. Получим прямоугольную цилиндрическую проекцию Меркатора (рис. 1,б). На карте в такой проекции не только параллели, но и меридианы — прямые параллельные линии. При этом если меридианы равно отстоят друг от друга, то расстояния между параллелями возрастают

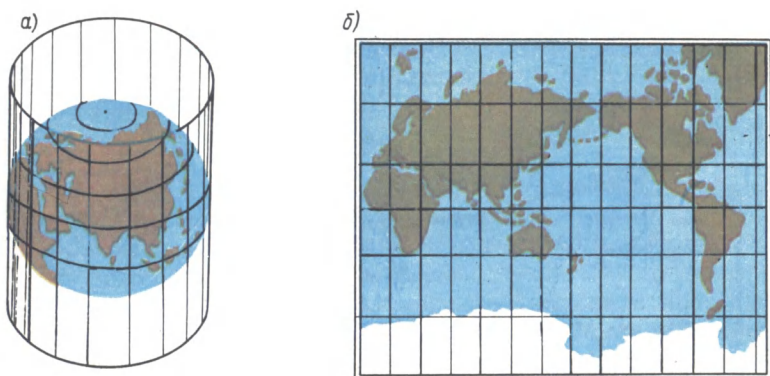


Рис. 1. Построение прямоугольной цилиндрической проекции

в направлении от экватора к полюсам, т. е. масштаб изображения на карте меняется в зависимости от удаленности его от экватора. По этой причине Гренландия, которая на глобусе меньше Африки, на карте в меркаторской проекции выглядит почти соизмеримой с ней.

Меркаторская карта искажает изображение, но почему именно она оказалась самой удобной для мореплавателей?

Во-первых, на крупномасштабных современных морских картах, охватывающих сравнительно небольшие части поверхности моря, искажения почти не заметны. Во-вторых, такая карта равноугольна, а это значит, что всякий угол, образуемый двумя направлениями на глобусе, будет равен такому же углу на карте, т. е. путь судна, идущего неизменным курсом, будет представлять собой на карте прямую линию и его можно вычертить с помощью карандаша и линейки, что невозможно сделать на глобусе. Наконец, поскольку проектирование осуществляется из центра глобуса, широтная градусная сетка с правой и с левой сторон карты может служить масштабом для измерения расстояний.

Таким образом, с помощью циркуля-измерителя можно легко, быстро и достаточно точно измерить расстояние между двумя любыми точками.

Все это позволяет вести прокладку пути судна, в частности отмечать его текущее положение на карте, как это показано на рис. 2.

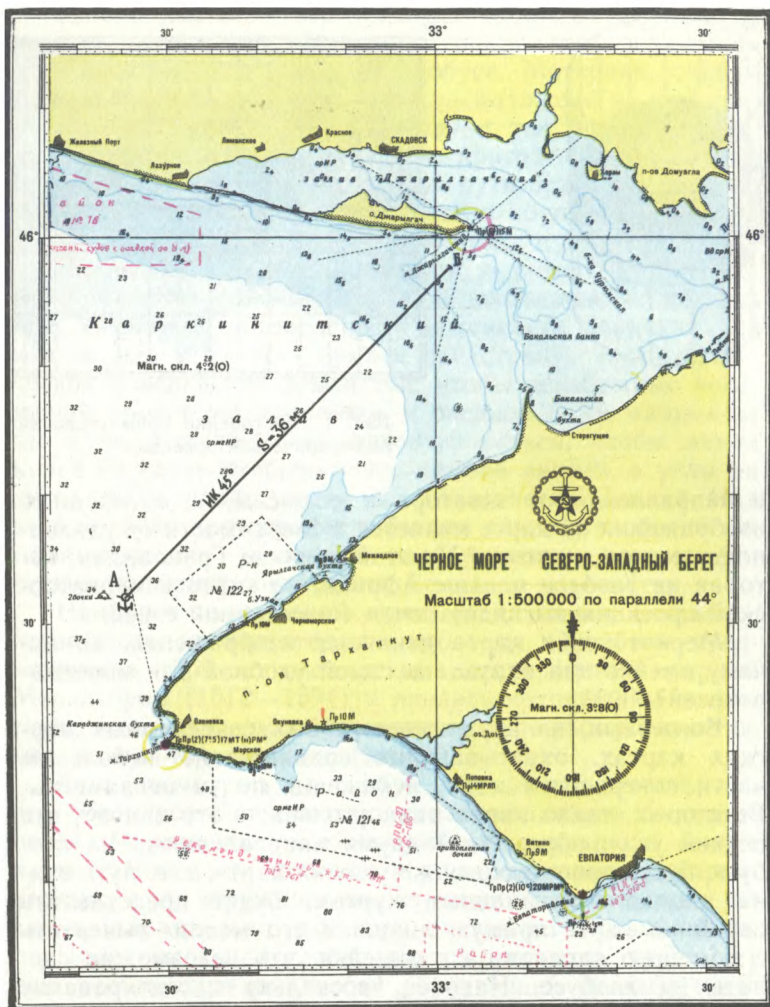


Рис 2. Образец предварительной прокладки пути судна

Пусть необходимо провести судно из точки якорной стоянки А в точку Б. Соединим точки прямой линией, которая и будет предварительной прокладкой пути судна на карте. Измерив с помощью транспортира угол

между направлением меридиана и намеченной линией пути, определим курс, которым должно следовать судно. *Курс* — это угол между направлением на север, т. е. северной частью меридиана, и диаметральной, т. е. продольной плоскостью судна, отсчитываемый по часовой стрелке. Выйдя в море, штурман через определенные промежутки времени откладывает на линии пути, проложенной на карте, пройденное судном расстояние, которое он снимает в соответствующем масштабе циркулем-измерителем с боковой рамки карты.

Рассмотренный пример, конечно, является простейшим и служит лишь для пояснения принципа решения штурманом одной из задач счисления пути. В действительности путь из порта в порт далеко не всегда бывает прямым и кратчайшим, и прежде, чем наметить его, штурман заранее тщательно изучает специальные морские карты и пособия.

Морские навигационные карты издают в масштабах от 1:1000 до 1:5 000 000. На карте мелкого масштаба намечают весь маршрут или большую его часть, а крупномасштабные карты используют непосредственно для плавания.

Посредством условных знаков на морской карте нанесена вся необходимая для штурмана информация — участки берега, навигационные знаки, ограждающие опасности, маяки, мели, рифы, затонувшие суда с указаниями глубины над ними, сведения о течениях и магнитном склонении. Цифры обозначают глубины, а буквы между ними характеризуют грунт дна, например: г — гравий, мП — мелкий песок, Гл — глина и т. д. Есть и другие обозначения на карте: \perp — подводные камни (они никогда не видны над поверхностью моря), \perp — надводные и Осах — осыхающие камни (они появляются только во время отлива) и др.

Карта помогает штурману выбрать наиболее выгодные и безопасные маршруты и места стоянок. Для каждого рейса подбирается специальный комплект морских карт, и притом немалый. Так, для перехода из Ленинграда во Владивосток требуется не менее 600 карт, а из Ленинграда в Кронштадт — не менее двух.

Выбирая путь, штурман особое внимание обращает на то, чтобы глубины были достаточны, опасные места оказались в стороне, течения не сильно мешали, а, наоборот, помогали следовать намеченным путем, чтобы

во время плавания была возможность проверить местоположение судна и при необходимости подкорректировать курс.

Однако карты не содержат всех сведений для выбора пути судна и безопасного плавания по нему. Так, не отмечены ожидаемая для данного времени года погода, преобладающие ветры, вероятность туманов, возможные льды, характер течений и др. Не приводятся на карте данные различных радиотехнических средств, нет специальных правил, установленных в тех или иных районах, не отражены особенности и условия входа в порты захода судна. Поэтому в дополнение к картам издаются руководства и пособия для плавания — лоции, атласы течений и справочные книги различного назначения.

Лоция (от гол. *loodsen* — вести корабль) — это пособие для мореплавания, в котором дано подробное описание берегов, бухт, гаваней, рейдов и портов. Из нее можно узнать о подводных опасностях и течениях, порядке плавания в узкостях и навигационных ориентирах, расстояниях между портами и рекомендованных маршрутах.

В лоции приводятся сведения о том, как выглядят и далеко ли видны с моря мысы, возвышенности, береговые строения, какие гидрометеорологические условия ожидаются в данных районах плавания и др. Лоции составляются для отдельных морей или их частей, а также для отдельных районов океанов.

Интересно отметить, что лоции появились раньше карт. Это были описания прибрежных маршрутов плавания, в которых отмечалось все, что могло помочь мореплавателю. Наиболее древней лоцией, дошедшей до нас, является труд грека Скилака „Перипл“, написанный в VI в. до н. э.

Как первые древние карты — *портоланы*, так и описания к ним — *периплы* (прообразы нынешних лоций), кроме полезных знаний, содержали много небылиц. На портоланах кроме приближенных очертаний материков были рисунки с изображениями чудищ, извергающих из пасти ветры разных направлений, фантастических животных, растений, а также людей, живущих в разных странах.

Так, в описаниях к картам, изданным в России в 1637 г. (перевод с фламандского), приводились, например, такие данные об о. Мадагаскар: „Царство магдайское, стоит на одном острове на море полуденном... Вера ж у них

служат солнцу и огню, прилежат звездочтению и волхвованию... Бе же остров человекоядцы, нарекаемые на Фарсийском море. Человеческую и всяких зверей и скот плоти вкушают и кровь пьют..."¹. Или: „Остров, живут на нем люди, главы у них видом песьи, человецы велицы страшливы, много на сем острове камней драгоценных”².

Такие легенды были вызваны незнанием и стремлением отпугнуть людей от дальних странствий. В современных логиях приводятся строго документированные данные, и они периодически корректируются.

Кроме карт и логий штурман при выборе пути использует пособия „Огни и знаки”, „Радиотехнические средства навигационного оборудования”, „Извещения мореплавателям” и др.

„Огни и знаки” включают необходимые сведения о маяках, светящих и несветящих знаках, плавучих маяках и буйах. Указываются дальность видимости огней, их цвет и т. д. „Радиотехнические средства навигационного оборудования” содержат данные о радионавигационных системах, их координатах, опознавательных сигналах, частотах излучения сигналов и режимах работы.

За лаконичным официальным языком этих документов — огромный запас сведений, накопленных многими поколениями мореплавателей и исследователей. В них отражен замечательный труд всех, кто создавал в море и на берегу технические средства для обеспечения безопасности плавания.

Наконец, маршрут намечен. Подана команда, поднят якорь, и судно отправилось в плавание. Штурман начинает вести прокладку и следит за тем, когда оно придет в первую намеченную точку поворота. При этом очень важно контролировать место нахождения судна, чтобы вовремя скорректировать его движение. Следует периодически измерять глубины под килем и своевременно проверять, не отклонилось ли судно от выбранного маршрута, ведь на него действуют ветры, течения, волнение моря, к тому же приборы, которые управляют судном, не идеальны и могут ошибаться.

При плавании вблизи берега эта задача решается наблюдением и измерением направлений на маяки, бере-

¹ Давидсон А. Б., Макрушин В. А. Зов дальних морей. М., 1979. С. 116.

² Там же. С. 117.

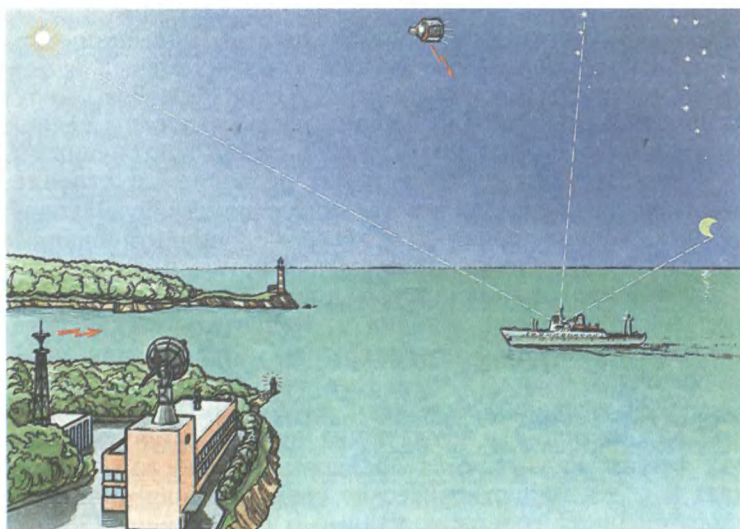


Рис. 3 Средства определения места судна в море

говые отличительные ориентиры, знаки и т. п. При плохой видимости и вдали от берега штурману помогают средства определения места по небесным светилам, по сигналам радионавигационных систем, космических летательных аппаратов, радиолокационные станции и другие специальные приборы (рис. 3).

Судно идет днем и ночью, следуя намеченным курсом, а на карте остается след в виде тонкой карандашной линии с отметками мест, где координаты его и курс были уточнены по специальным приборам.

§ 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ИЗ НАВИГАЦИИ

В русский язык понятие „навигация” вошло при Петре I. *Навигаторами* называли всех обучающихся за границей морскому делу. История развития теоретических основ и методов навигации связана непосредственно с историей мореплавания.

Расширение границ мореплавания в эпоху великих географических открытий (XII—XV вв.) не могло происходить без совершенствования морских судов, методов и средств судовождения. На этом этапе судовождение основывалось не только на лоцманском методе, т. е. на опыте и знаниях специалистов по проводке судов, но и на счислении¹ пути судна, хотя оно и было в те времена весьма примитивным. Вместе с развитием средств и методов счисления пути судна успешно совершенствовались и методы мореходной астрономии, обеспечивающие периодический контроль точности счисления. К середине XV в. возникла настоятельная необходимость иметь на судах специалиста по навигации — штурмана, на которого возлагалась обязанность обеспечения точности и безопасности плавания. *Штурман* — человек, управляющий судном (от гол. *stucor* — руль, управление, *man* — человек). В средние века мореплавателя, ответственного за безопасность плавания, называли также *кормчим*, *мастером*, *пилотом*. Последнее наряду с навигатором как синоним слова штурман широко употребляется в некоторых странах и сейчас.

Первые российские штурманы появились на кораблях петровского флота в начале XVIII в. По морскому уставу того времени штурману в целях повышения ответственности за безопасность мореплавания вменялось в обязанность каждую вахту или каждые четыре часа сдавать счисление, прокладывать на карте место корабля и докладывать об этом капитану.

Российской державе необходимо было готовить своих навигаторов для кораблей зарождающегося морского флота. В 1701 г. в Москве была открыта школа математических и навигацких наук. Выпускники этой школы приступали к службе на русских кораблях и к работам по картографированию страны и омывающих ее берега морей и океанов. В 1748 г. появился и первый наиболее полный для подготовки штурманов труд по навигации — „Книга полного собрания о навигации”, составленная капитаном морского корабельного флота С. И. Мордвиновым.

К разработке теоретических вопросов в области навигации и мореплавания привлекаются в этот период из-

¹ *Счисление* — определение места судна путем вычисления его текущих координат от известных начальных по курсу, скорости и времени.

вестные ученые Петербургской академии наук — академики Л. Эйлер, Д. Бернулли и др. Особое значение имела работа М. В. Ломоносова „Рассуждение о большой точности морского пути” (1759 г.). В ней изложены основы кораблеводства и проведены соображения о необходимости дальнейшего развития навигационных приборов. Это свидетельствует о большом внимании русских моряков и ученых к морскому делу и развитию теоретических основ кораблеводства и навигационного приборостроения.

В последующие годы вышел целый ряд трудов русских и советских ученых и мореплавателей по навигации, среди которых наибольшую популярность приобрели работы П. Гамалея, Н. А. Сакеллари, В. К. Каврайского, Н. Н. Матусевича, К. С. Ухова, А. П. Ющенко и др.

В наше время *морская навигация* рассматривается как наука о выборе пути, определении места и перемещении судна в море с учетом задач, решаемых судном, и влияния внешней среды на его направление и скорость. Морская навигация — ведущая дисциплина в цикле наук о судовождении. В ней широко используются выводы и достижения фундаментальных наук, а также геодезии, картографии, гидрографии, океанографии и гидрометеорологии.

По мере развития технических средств судовождения, повышения их точности и уровня автоматизации меняются и совершенствуются методы морской навигации. Основой теории навигации и принципа построения многих навигационных систем являются знания о фигуре Земли, способы определения координат и измерений направлений, скорости и расстояний на море.

Фигура Земли

Чем точнее мы знаем форму и размеры Земли, тем точнее и совершеннее навигационная карта, а значит и плавание.

Какие размеры и форму имеет вращающаяся вокруг своей оси наша планета Земля?

Этот вопрос интересовал еще ученых древности. Около 360 лет до н. э. появился труд величайшего мыслителя того времени греческого философа Аристотеля „О небе”. Изучая характер лунных затмений, Аристотель первый указал на шарообразность Земли: край земной тени, от-

брасываемой на Луну, всегда имеет округлую форму. Аристотель приводил и другое доказательство шарообразной формы Земли, вытекающее из наблюдений за изменением положений звезд при перемещении наблюдателя по меридиану. Он писал, что даже незначительное перемещение места наблюдателя на север или юг значительно изменяет положение звезд: некоторые из них, видимые в Египте, в северных странах не просматриваются.

Первое определение размеров Земли было дано около 230 лет до н. э. греческим ученым Эратосфеном Киренским (около 276—194 гг. до н. э.), заведовавшим в царствование Птолемея III знаменитой Александрийской библиотекой. При вычислении радиуса Земли Эратосфен исходил из следующего. Александрия, где он жил, и Сиена — город в Египте (современный Асуан), находятся на одном меридиане. В полдень самого длинного дня солнце стоит отвесно над Сиеной, так как его можно наблюдать со дна глубоких колодцев, т. е. высота солнца в Сиене $h_1 = 90^\circ$. Измерив с помощью гномона¹ в тот же момент высоту солнца в Александрии, он нашел ее равной $h_2 = 82^\circ 48'$. Длина дуги меридиана между Сиеной и Александрией, таким образом, составила $\sigma = h_1 - h_2 = 7^\circ 12'$. С другой стороны, по времени, необходимому каравану верблюдов на прохождение расстояния между этими городами, Эратосфен определил линейную длину дуги меридиана между ними в 5000 стадий, или 787,5 км, и получил все данные для вычисления радиуса Земли.

Окружность земного шара он определил в 250 000 египетских стадий, что соответствует приблизительно 45 000 км. Чтобы более точно установить размеры и истинную форму Земли, нужно было уметь измерять расстояния в сотни километров. Это стало возможным лишь после изобретения в XVII в. голландским геодезистом Снеллиусом (1580—1626) способа измерения больших расстояний — триангуляции. *Триангуляция* представляет собой цепь треугольников с несколькими астрономическими пунктами. Расстояние между этими пунктами несколько сот километров. Размер треугольников 10—30 км. Если широта и долгота астрономических пунктов известны, то координаты всех вершин треугольников можно вычислить. Необходимо только измерить все углы треугольников и длину одной из их сторон.

¹ *Гномон* — простейший угломерный инструмент.

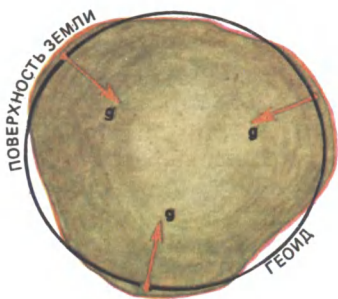


Рис. 4. Геоид

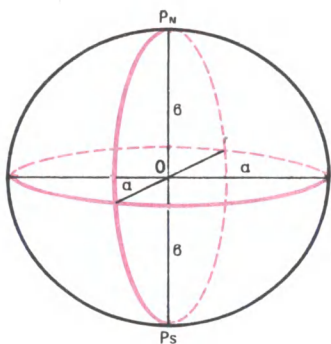


Рис. 5. Эллипсоид

Кропотливая работа геодезистов позволила получить очень высокую точность измерений. Используя способ триангуляции, русским геодезистам потребовалось более 30 лет на измерение „русско-скандинавской дуги меридиана” — цепочки из 258 треугольников с 10 базами и 13 астропунктами. Цепочка вытянута на $25^{\circ} 20'$ по меридиану от Измаила до Фугленеса (север Норвегии). На южной оконечности гигантской дуги установлен обелиск с надписью „Постоянно трудясь с 1816 по 1852 г. измерили геометрии всех народов”. „Русско-скандинавскую дугу” часто называют „дугой Струве” в знак особого уважения к одному из руководителей этих работ — выдающемуся астроному В. Я. Струве.

Метод триангуляции и сегодня остается ведущим среди всех способов создания геодезической основы карт.

В настоящее время форма и размеры Земли определены достаточно точно. Она имеет форму, называемую *геоидом* (рис. 4). Поскольку форма Земли неправильная, обработать измерения, относимые к ее поверхности, очень сложно. Поэтому при решении основных задач судовождения пользуются схожестью геоида с математически правильной формой фигуры *эллипсоида*, образованного вращением эллипса с полуосями a и b около малой оси $P_N P_S$ (рис. 5). В практике используется трехосный эллипсоид, параметры которого получены из градусных измерений, проведенных на территории СССР, в странах Западной Европы, Северной Америки советскими геодезистами под руководством Ф. Н. Красовского, и имеют следующие

значения: большая полуось $a = 6\,378\,245$ м; малая полуось $b = 6\,356\,863$ м; полярное сжатие (относительная разность полуосей) $\alpha = (a - b) / a = 1/298\,257$; эксцентриситет $e = \sqrt{a^2 - b^2} / a = 0,0816$.

Уточнение параметров Земли, необходимое прежде всего для создания высокоточных морских навигационных и топогеодезических карт различного назначения, продолжается и в настоящее время. Например, экваториальный радиус Земли, начиная с XVII в., определялся сотни раз. Его измерения ведутся и сейчас.

Иногда в практике кораблеводства в зависимости от точности решения задач навигации Землю принимают за шар. Радиус Земли — шара R может быть определен исходя из условия, что ее объем равен объему земного сфероида (референц-эллипсоид Красовского):

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi a^2 b,$$

тогда $R = 6371,1$ км.

Для ориентирования наблюдателя на море большое значение имеют понятия об условных точках, линиях и плоскостях (рис. 6).

Прямая $P_N P_S$ — предполагаемая земная ось, вокруг которой происходит суточное вращение Земли. Эта ось совпадает с малой осью земного эллипсоида. Географические полюса P_N и P_S — точки пересечения земной оси с поверхностью Земли. Полюс P_N , со стороны которого вращение Земли наблюдается против движения часовой стрелки, называется *Северным*, противоположный P_S — *Южным*.

Плоскости, перпендикулярные земной оси в пересечении с поверхностью земного эллипсоида, образуют круги qq' , называемые *параллелями*. Наибольшую из параллелей QQ' , плоскость которой проходит через центр Зем-

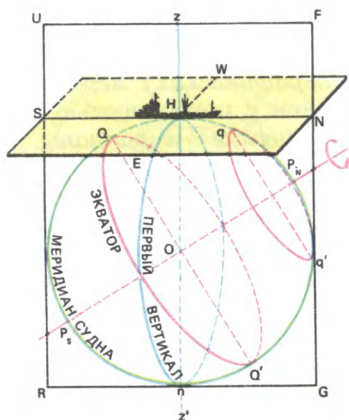


Рис. 6. Основные точки, линии и плоскости для ориентирования наблюдателя

ли, называют земным *экватором*. Плоскости, проведенные через полюсы Земли, называют *плоскостями истинных (географических) меридианов*. Эти же плоскости в пересечении с поверхностью Земли образуют *истинные (географические) меридианы*. Меридиан, проходящий через место наблюдателя, называют *меридианом наблюдателя*. Если, например, наблюдатель находится в точке H , то меридианом наблюдателя будет большой круг $P_N HP_{Sn}$. Прямая zz' , совпадающая с направлением силы тяжести в данной точке, называется *вертикалью* или *отвесной линией*. Продолжение линии zz' вверх (от центра Земли) дает на воображаемой небесной сфере точку, называемую *зенитом наблюдателя*, а продолжение этой же линии в обратном направлении — точку на небесной сфере, называемую *надиром*. Плоскость $NESW$, перпендикулярную отвесной линии в точке наблюдателя H , называют *плоскостью истинного горизонта*. Пересечение плоскости $FGRU$ меридиана наблюдателя с плоскостью истинного горизонта образует на последней прямую $N—S$ (север — юг), т. е. направление из места наблюдателя H на N и S .

Плоскости, проходящие через отвесную линию zz' , называют *плоскостями вертикалов*. Одна из них, перпендикулярная плоскости истинного меридиана, называется *плоскостью первого вертикала*. Пересекаясь с плоскостью истинного горизонта, она образует прямую $E—W$ (восток — запад), т. е. направление на E и W .

Линии $N—S$ и $E—W$ делят плоскость истинного горизонта наблюдателя на четыре четверти NE , SE , SW , NW , которые необходимы судоводителям для определения направлений в океане.

Понятия географических широты и долготы, определяющих местоположение какого-либо пункта на поверхности Земли, вероятно, возникли в Древней Греции за 300 лет до н. э., но не в таком виде, как мы понимаем их сейчас: сегодня *широта* — это количество градусов дуги меридиана к северу или югу от экватора, а *долгота* — количество градусов к востоку или западу от некоторого выбранного меридиана. В эллинские времена эти величины наиболее часто, хотя и не всегда, выражали в интервалах времени. Так, широту пункта определяли продолжительностью самого длинного светового дня в году, а разность долгот между двумя пунктами — различием их местных времен.

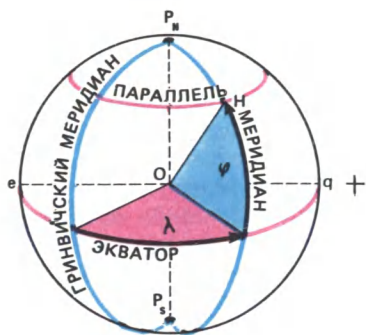


Рис. 7. Координаты

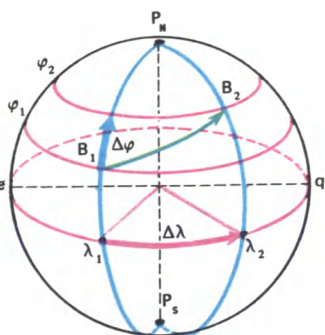


Рис. 8. Разность широт и разность долгот

Первым, кто предложил математически точную концепцию географических широты и долготы, был Клавдий Птолемей (около 90—160 гг. н. э.). В своей „Географии” он привел сетку координат, исчисляемых в градусах, где широты измерялись от экватора, а долготы — от самой западной точки островов Фортуны (Канарские острова, Атлантический океан).

В современной теории навигации и практике судовождения применяются следующие понятия широты и долготы.

Географической широтой φ точки называется угол между отвесной линией данной точки и плоскостью экватора.

Широта измеряется дугой меридиана (рис. 7) от экватора до параллели данной точки H . Так как экватор делит Землю на два симметричные полушария — северное (N), где лежит N -й полюс, и южное (S), где лежит S -й полюс, то, естественно, и широты считаются в каждом полушарии от экватора к N -му или S -му полюсу от 0 до 90°. Счет ведется в градусах, минутах и десятых долях минуты с присвоением широте наименования того полушария, в котором лежит данное место.

Географической долготой λ точки называется угол между плоскостью гринвичского меридиана и плоскостью меридиана данной точки.

Долгота измеряется меньшей дугой экватора от Гринвичского меридиана до меридиана данной точки H . Гринвичский меридиан делит Землю на два полушария —

восточное (*E*) и западное (*W*), поэтому в зависимости от того, в каком полушарии лежит данная точка, долготе присваивается наименование *E* или *W*. Счет долготы ведется в градусах, минутах и десятых долях минуты от 0 до 180°. Например, географические координаты Ленинграда записываются так: $\varphi = 59^\circ 65',5N$; $\lambda = 30^\circ 19',4E$.

В судовождении часто рассматривается взаимное положение двух точек на земной поверхности (рис. 8). Например, если судно из пункта B_1 с координатами φ_1 и λ_1 перешло в пункт B_2 с координатами φ_2 и λ_2 , то это перемещение можно учесть с помощью разности широт (РШ или $\Delta\varphi$) и разности долгот (РД или $\Delta\lambda$).

Разностью широт двух точек называется меньшая дуга меридиана, заключенная между параллелями этих точек. Если судно идет в северном направлении, то разности широт приписывается северное наименование — к *N*, в южном — южное к *S*. Разность широт и ее знак определяются по формуле $РШ = \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$, и она изменяется в пределах от 0 до $\pm 180^\circ$.

Разностью долгот двух точек называется меньшая дуга экватора, заключенная между меридианами этих точек. Если судно идет в восточном направлении, то разности долгот приписывается восточное наименование — к *E*, если в западном направлении — к *W*. Разность долгот и ее знак рассчитываются по формуле $РД = \Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, она изменяется в пределах от 0 до $\pm 180^\circ$.

Счет направлений

К основным направлениям, принятым в судовождении, относятся: курс, пеленг и курсовой угол (рис. 9).

Истинным курсом судна *ИК* называется угол в плоскости истинного горизонта между северной частью истинного меридиана N_n и диаметральной плоскостью судна.

Истинным пеленгом *ИП* называется угол в плоскости истинного горизонта между северной частью истинного меридиана N_n и направлением на объект.

Курсовым углом *КУ* называется угол в плоскости истинного горизонта между носовой частью диаметральной плоскости судна и направлением на объект.

Для измерения направлений относительно истинного меридиана в море на судах применяются курсоуказатели, построенные с использованием различных физических принципов. Теоретически главные оси любых курсоука-

зателей ($0-180^\circ$ или NS) должны располагаться по линии истинного меридиана $N_{\text{и}}$ и сохранять это направление неизменным. Однако современные курсоуказатели имеют погрешности и показывают положение приборного (выработанного), а не истинного меридиана. Поскольку первыми основными курсоуказателями были компасы, то для простоты и краткости принято все приборные меридианы и направления называть компасными. Поэтому направления, определяемые с помощью курсоуказателей, в практике судовождения называют компасными.

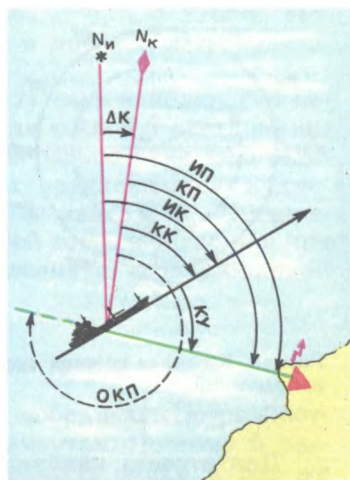


Рис. 9 Направления и их соотношения

Компасным курсом $КК$ судна называется угол в плоскости истинного горизонта между северной частью компасного меридиана $N_{\text{к}}$ и диаметральной плоскостью судна по направлению его движения.

Компасным пеленгом $КП$ судна называется угол в плоскости истинного горизонта между северной частью компасного меридиана $N_{\text{к}}$ и направлением на объект. Угол, отличающийся от $КП$ на 180° , называется *обратным компасным пеленгом $ОКП$* .

Угол в плоскости истинного горизонта между истинным и компасным меридианами называется *поправкой курсоуказания ($\Delta К$)*. Величина поправки курсоуказания определяется выражением $\Delta К = ИК - КК$ или $\Delta К = ИП - КП$. Эти формулы позволяют судоводителям переходить от компасных направлений к истинным и наоборот.

Истинные курсы и пеленги отсчитываются, как правило, в круговой системе счета от 0 до 360° , курсовые углы — в полукруговой системе от 0 до 180° с прибавлением наименования борта — правого или левого. Между истинным курсом, истинным пеленгом и курсовым углом существует зависимость, выраженная формулами $ИК = ИП + КУ \text{ л/б}$; $ИК = ИП - КУ \text{ п/б}$.

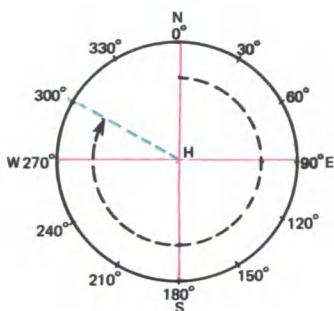


Рис. 10. Круговая система счета направлений

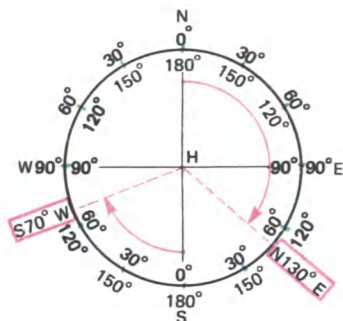


Рис. 11. Полукруговая система счета направлений

Для отсчета направлений при ориентировании судна на земной поверхности в настоящее время применяются три системы: круговая, полукруговая и четвертная.

Круговая система, появившаяся на границе девятнадцатого и двадцатого столетий, является основной. Для наблюдателя, расположенного в плоскости истинного горизонта в точке H (рис. 10), весь горизонт делится на 360° . За начало отсчета направлений принимается северная часть истинного меридиана N . Все направления отсчитываются от N по ходу часовой стрелки. По круговой системе градуируются отсчетные шкалы систем курсоуказания, индикаторов радиолокационных станций и другие, служащие для определения направлений в море.

В *полукруговой* системе (рис. 11) счет направлений ведется от 0 до 180° от северной или южной части истинного меридиана (точки N или S) как в сторону восточной E , так и западной W части горизонта. Для исключения многозначности направлений в этой системе кроме величины угла, характеризующего направление, обязательно указывается, от какой части меридиана (N или S) и в какую сторону (E или W) отсчитывается

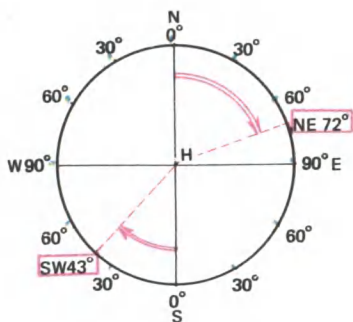


Рис. 12. Четвертная система счета направлений

данное направление, например, $N130^{\circ}E$, или $S70^{\circ}W$. Полукруговая система применяется в морской астронавигации.

В *четвертной* системе (рис. 12) счет направлений ведется от 0 до 90° от северной N или южной S части истинного меридиана к E или W . Для исключения неопределенности каждому направлению присваивается наименование четверти, например, $NE72^{\circ}$ или $SW43^{\circ}$. Четвертная система применяется в морской астронавигации и при аналитических расчетах направлений с использованием формул плоской тригонометрии.

Меры длины

В навигации географические координаты выражаются в угловой мере — градусах, минутах. Поэтому и расстояния в море лучше всего выражать одним и тем же числом как в линейной, так и градусной формах.

Дошедшие до нас первые российские морские навигационные карты, например знаменитая карта Каспийского моря, свидетельствуют об использовании единой меры.

Известно, что в 1719 г. Петр I был избран членом французской Академии наук. Этому способствовали значительные достижения русской географической науки и, в частности, рисованная карта Каспия, подаренная Петром I — организатором экспедиции на Каспий — французской Академии. Карта была составлена по материалам многолетних экспедиций русских геодезистов, которыми руководили А. Бекович-Черкасский, Н. Кожин, В. Урусов, К. Верден, Ф. Соймонов. В 1720 г. в Петербурге была изготовлена печатная форма в виде резцовой гравюры на медной пластине карты Каспийского моря под названием „Картина малого моря Каспийского от устья Яровского до залива Астрабатского по меридиану возвышается в градусах и минутах, глубина в сажнях и футах”. В экспедиции, предшествовавшей ее выпуску, принимал участие лейтенант Ф. Соймонов — выпускник навигацкой школы в Москве, вице-адмирал, впоследствии известный ученый, издавший много трудов по географии, истории и штурманскому делу.

В настоящее время в качестве универсальной единицы длины для измерения расстояний на море принята *морская миля*, равная длине одной минуты дуги географического

меридиана. Однако длина одной минуты дуги меридиана на земном эллипсоиде является величиной переменной, зависящей от широты. В районе полюса она имеет максимальное значение — 1861,6 м, на экваторе — минимальное, равное 1842,9 м, а в средних широтах ($\varphi = 45^\circ$) — 1852,2 м. Использовать переменную единицу длины даже с небольшими колебаниями $\pm 0,5\%$ практически невозможно. Это прежде всего усложнило бы конструкцию приборов, в которых определяется и учитывается пройденное расстояние. Поэтому за морскую милю принимают величину постоянную. В 1926 г. международное географическое бюро за стандартную морскую милю приняло величину, равную 1852 м. В 1931 г. к этому решению присоединился СССР. В других странах, где приняты другие величины для полуосей эллипсоида a и b или где радиус воображаемого шара определяется не из сравнения объемов, а другими приемами, за морскую милю принимают значения, несколько отличающиеся от 1852 м, но близкие к ним. Ниже приведены длины морской мили, м, принятые в различных странах:

Англия	1853,18	Италия	1851,65
Германия	1852,00	США	1852,00
Нидерланды	1851,85	Швеция	1852,00
Дания	1851,85	Франция	1852,00
Испания	1852,00	Япония	1852,18
Португалия	1850,03		

Кроме морской мили в судовождении применяют и другие единицы длины: кабельтов, сажень морская, фут, ярд.

Кабельтов применяется для измерения в море сравнительно небольших расстояний. Длина его равна $1/10$ стандартной морской мили, или 185,2 м.

Сажень морская составляет 1,83 м, или 6 футов. Эта единица длины применяется для обозначения глубин на старых картах.

Фут равен 30,48 см. Он применяется для обозначения высот побережья и малых глубин на картах и шкалах.

Ярд, равный 3 футам, или 91,44 см, применяется в США и Великобритании для измерения небольших расстояний.

За основную единицу скорости в судовождении принят *узел*. Он составляет скорость, с которой проходит судно одну стандартную милю в час. Например, скорость судна 12 уз означает 12 морских миль в час. При

решении многих задач судовождения, в частности задач маневрирования, скорости судов часто выражают в кабельтовых в минуту. Для перевода используется формула $v \text{ каб/мин} = v \text{ уз/6}$.

Соотношения между основными единицами длины следующие:

1 метр = 100 см = 39,370 079 дюйма = 3,280 839 90 фута = 1,093 613 30 ярда = 0,546 806 65 морской сажени;

1 километр = 1000 м = 0,539 956 80 морской мили = 1093,61330 ярда = 3280,83990 фута;

1 морская миля = 1852 м = 1,852 км = 2025,371 ярда = 6076,1154 фута;

1 дюйм = 25,4 мм = 2,54 см;

1 фут = 0,30480 м = 12 дюймов = 1/3 ярда = 1/6 морской сажени;

1 ярд = 0,9144 м = 3,6 дюйма = 3 фута;

1 кабельтов = 0,1 морской мили = 185,2 м = 0,1852 км = 202,53718 ярда = 607,61154 фута.

§ 3. СУДОВОЖДЕНИЕ И НАВИГАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ

Итак, для точного и безопасного плавания необходимо в первую очередь знать курс, скорость движения судна, его место и глубину под килем.

Для измерения этих параметров современные суда оснащены специальными навигационными приборами. Это сложные электромеханические, электронные и радиотехнические средства, построенные на основе новейших достижений науки и техники. Развитие этих приборов имеет свою интересную историю, теснейшим образом связанную с историей мореплавания.

Для первых смельчаков, рискнувших в глубокой древности на бревне или связке камыша оторваться от берега и отправиться по бухте или заливу в небольшое путешествие, ориентирами были хорошо знакомые берега.

Прошло много веков, пока человек научился строить суда, на которых можно было относительно безопасно выходить в море. Первые плавания совершались днем и, конечно, вдоль берегов. Возможность быстро вернуться позволяла сохранять мореплавателям в окружающей их стихии бодрость и уверенность. Потом стали плавать ночью и даже удаляться от берега за горизонт, когда обратили внимание на то, что звезды на небосводе

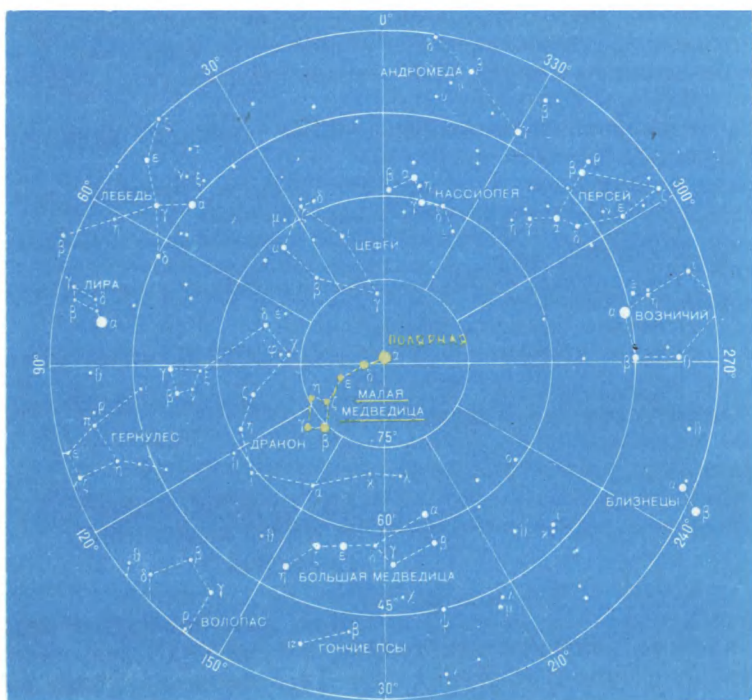


Рис. 13. Полярная звезда

разбросаны не хаотично, а в строгой закономерности. Было замечено, что звезды на небе не сносит ветром и они расположены так, что их можно объединить в группы — созвездия, что в целом весь небосвод вращается. Также было прослежено, что некоторые созвездия не исчезают за горизонтом, а описывают круги и есть особо примечательная звезда — это кончик ковша *Малой Медведицы* (рис. 13). Она сохраняет свое положение на небе почти неизменным и является как бы центром, вокруг которого вращается небосвод. И еще одно удивительное свойство было обнаружено у этой яркой звезды: чем южнее плыл мореплаватель, тем ниже опускалась она к горизонту, а на экваторе совсем тонула в море (рис. 14). Эту звезду мореплаватели древних времен называли высокопоставленной, *Путеводной*, затем *Полярной*. Именно ее чаще всего выбирали за главный ориентир.

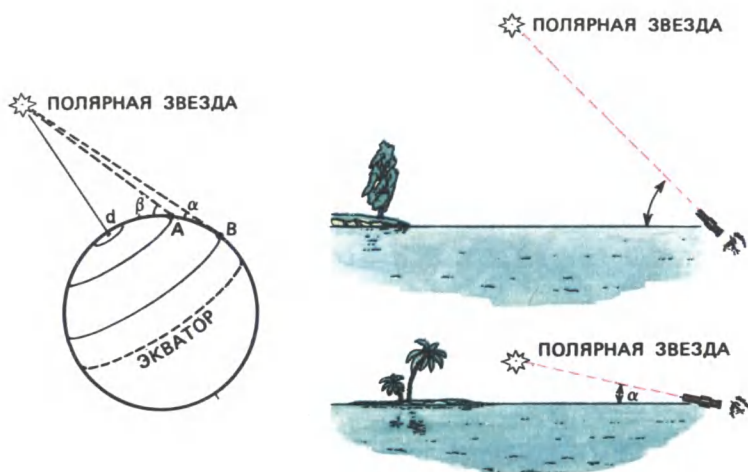


Рис. 14. Высота Полярной звезды в разных широтах

Позднее удалось установить, что Полярная звезда очень близка к Северному полюсу мира, направление на нее совпадает с направлением истинного меридиана с погрешностью не более $2\text{--}3^\circ$, а высота ее над горизонтом равна приблизительно широте места наблюдения. Измерив высоту звезды с борта судна, можно определить широту места, где оно находится. Эту же задачу, как оказалось, можно решить, измерив в полдень высоту солнца.

Предполагают, что уверенно ориентироваться по светилам мореплаватели начали в VI в. до н. э. Появились первые нехитрые инструменты для измерения высот светил, а несколько столетий позже и специальные трактаты с таблицами сферической астрономии, которые по измеренным высотам позволили приближенно определять широту судна.

Мореплаватели почувствовали себя увереннее. В IV в. до н. э. греческий купец из Массилии (г. Марсель) Пифей рискнул нарушить запрет плавания за Геркулесовы столбы, как в то время называли Гибралтарский пролив, и вышел в Атлантический океан, казавшийся тогда таинственным и бесконечно опасным. Уверенность ему придавало умение ориентироваться по светилам и измерять их высоты. Предполагают, что он впервые определял широты с помощью инструмента для измерения углов —

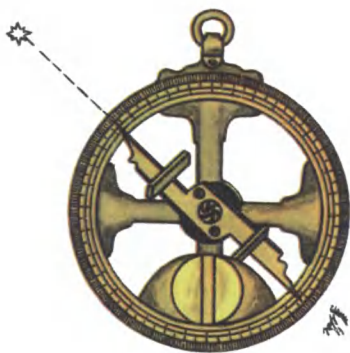


Рис. 15. Астролябия

гномона. Вообще говоря, инструментом его можно назвать лишь условно. Это был просто шест, который устанавливался вертикально. По соотношению длины шеста и тени, отбрасываемой им, Пифей вычислял высоту солнца, т. е. определял приблизительно широту места.

Позднее, в III в., для измерения углов был изобретен более совершенный инструмент, надежно служивший мореплавателям в течение

многих столетий, — *астролябия*. Она представляла собой круг, разбитый делениями на градусы. В центре круга крепилась визирная линейка. Подвешивая круг за кольцо в его верхней части и направляя визирную линейку на светило, по отсчету на круге определяли его высоту. Одна из таких астролябий изображена на рис. 15. Король Португалии Иоанн II назначил в 1482 г. в Лиссабоне специальную комиссию для вычисления таблиц высот солнца и создания астролябий, которыми можно было бы пользоваться в дальнем плавании.

Было сделано множество астролябий и других инструментов для определения высот светил, но все они имели серьезные недостатки — ими было трудно пользоваться на качающейся палубе и в ветреную погоду.

Астролябию, как правило, делали тяжелой для большей устойчивости при ветре и качке корабля. Так, во время первого путешествия Васко да Гамы в 1497 г. вокруг мыса Доброй Надежды наблюдения с помощью астролябии производили трое: один держал инструмент за кольцо, другой измерял высоту, а третий снимал отсчет.

Наиболее точным и удобным в использовании оказался *градшток*, или, как его еще называли по имени изобретателя Иакова бен Макира, „Посох Иакова” (рис. 16). Впервые устройство градштока описал Джон Вернер в 1514 г. в своих заметках о Птолемеевой географии. Инструмент был очень прост. Он представлял собой две взаимно перпендикулярные рейки. На длинной рейке, по которой может скользить короткая, нанесены градусные деления. Направляя длинную рейку на горизонт, наблю-

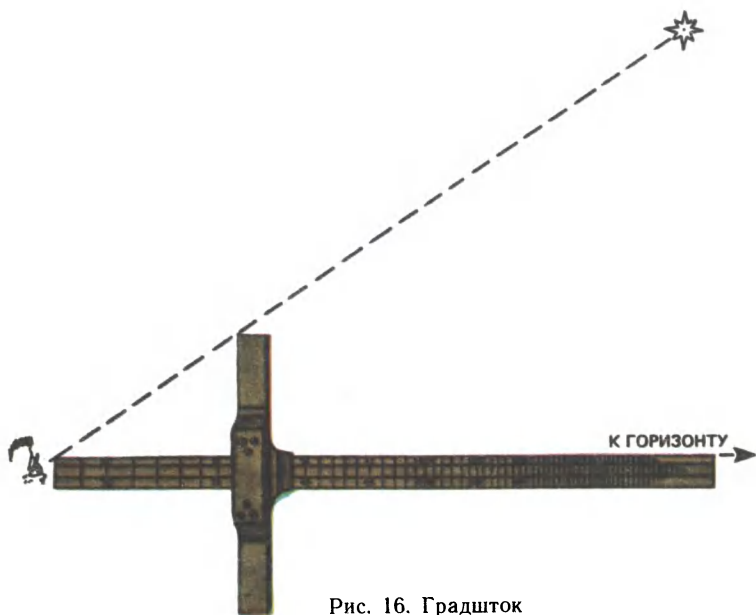


Рис. 16. Градшток

датель добивался, чтобы конец короткой рейки „касался” светила. Отсчет на шкале длинной рейки в месте их пересечения соответствовал высоте светила. С помощью одной короткой рейки нельзя было измерить любые высоты звезд или солнца, поэтому их к инструменту прилагалось несколько.

Первые угломерные инструменты и их разновидности в виде октантов, квадрантов и других явились прообразами современного высокоточного оптического угломерного инструмента *секстана*, который и по сей день является неизменным спутником всех штурманов мира во время их плаваний (рис. 17).

И все же, научившись определять приближенно широту своего места по светилам, мореплаватели опасались далеко уходить от берега. В туман, в непогоду, когда вокруг все серо и однообразно, ориентироваться было очень трудно. Помогали шум прибоя, цвет воды, направление волновой зыби и преобладающих ветров. Нередко выручали и птицы, в частности фрегаты. Выпущенные из клетки, они кратчайшим путем летели к берегу, указывая тем самым направление. В этих условиях далеко не

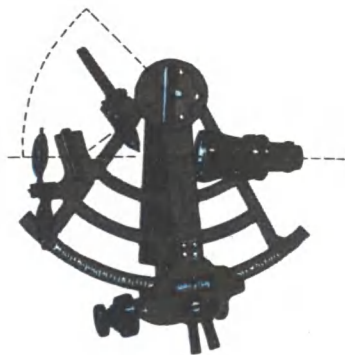


Рис. 17. Секстан

всегда все обходилось благополучно и измученный неведением, холодом и голодом моряк приставал к берегу. Сколько их, безвестных, заблудившихся в морских просторах и не вернувшихся домой, погибло в те древние времена, знает только море.

С появлением на судах *магнитного компаса* (от итал. *compasso* — спутник) в мореплавании произошел переворот. С помощью компаса могли ориентироваться по направлению в любое время

суток и при любой погоде. Свойство магнитной стрелки показывать туда, где в ясную погоду видна Полярная звезда, т. е. на север, дало им в руки инструмент, который и по сей день используется на всех кораблях и судах от яхты до океанского лайнера.

История магнитного компаса уходит в глубокую древность. Выцветшие папирусы и манускрипты не донесли до нас точных дат и авторов изобретения. Но сохранились рисунки первых компасов и легенды о его происхождении. Одна из них гласит, что магнитный компас создан китайской богиней ветров Фын-Хоу, которая с его помощью пыталась упорядочить дуновения ветров на Земле. Магнитный компас для мореплавания стал применяться в Китае еще за 3000 лет до н. э., но достоверные данные относятся к X—XI вв. Спустя некоторое время он стал известен арабам. Впервые в арабской литературе он упоминается в XV в. у ал-Идриси в „Утехе для жаждущего пересечения горизонтов“. Автор морской энциклопедии XV в. Ахмад ибн Маджид — лоцман португальской эскадры Васко да Гамы называл компас „домом иглы“, утверждая, что магнитная игла сделана из куска камня, которым Давид сразил Голиафа. Венецианцы утверждают, что в Европу его привез их соотечественник Марко Поло. Однако имеются сведения, что скандинавы пользовались магнитной стрелкой уже в XI в. Как бы то ни было, получив в европейских странах распространение, он помог совершить великие плавания и открытия той эпохи.

Появление на судах прибора для измерения курса заставило и более точно измерять скорость, так как, зная курс и скорость, можно приближенно вычислить место судна в море.

С появлением магнитного компаса измерять скорость на глаз, по количеству поставленных парусов или по скорости обтекания водой борта судна стало недостаточно.

В этот период начинает широко применяться измерение скорости методом, получившим название голландского *лага*. Суть его очень проста. На носу судна бросали какой-нибудь плавающий предмет, например кусок дерева, и определяли время, за которое он достигает кормы. Зная длину судна, вычисляли скорость.

В конце XVI в. скорость стали измерять с помощью ручного лага (рис. 18), который состоял из деревянного, окованного железом сектора, тонкого троса-лаглиня, на котором через определенные промежутки были завязаны узлы, и выюшки для его сматывания. Вертикально плавающий тяжелый сектор, опущенный с борта в воду, оставался неподвижным, наподобие плавучего якоря, а судно уходило вперед. Пока песок в песочных часах, рассчитанных, как правило, на 1/2 минуты, пересыпался из одной половины в другую, считали число узлов, которое успело уйти за борт вместе с лаглинем, увлекаемым сектором. Интервалы между узлами выбирались равными 14,6 м, т. е. с таким расчетом, чтобы один узел соответствовал скорости, равной одной морской миле в час. Так появилась единица измерения скорости на море — узел.

Недостатки такого лага очевидны — скорость измерялась периодически (как правило, каждые два часа), а сама процедура замера была довольно неудобной, поскольку после каждого измерения лаглинь надо было сматывать на выюшку и сектор поднимать на борт. Ну и, конечно, точность измерения скорости была весьма низкой. Тем не менее этот прибор применялся на судах

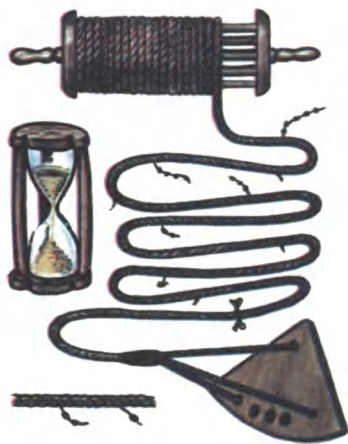


Рис. 18. Секторный лаг

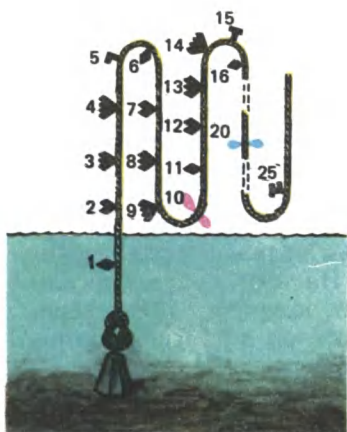


Рис. 19. Лот

вплоть до начала XIX в., когда был изобретен более совершенный механический лаг. Он состоял из вертушки, которая на тросике-лаглине буксировалась за кормой, и коробки с механическим счетчиком. Чем больше скорость судна, тем сильнее давление встречного потока воды и тем быстрее вращение вертушки. Вращение вертушки через механическое устройство передавалось на счетчик, по показаниям которого можно было рассчитать скорость.

Лаги, которые используются на судах в настоящее время, непрерывно и с высокой точностью измеряют скорость и пройденное расстояние и мало чем напоминают эти сооружения, буксируемые за кормой.

Не может быть и речи о безопасности плавания, если не известна глубина под килем, особенно в прибрежных водах и на мелководье. С этой задачей человек столкнулся с первых же дней плавания. Первым инструментом для замера ему служило весло или простой шест с нанесенными на нем делениями, называемый *футштоком* (от нем. *Fußstock* — рейка с делениями).

На судах Древнего Египта, совершавших плавания по Нилу, для измерения глубин применялся *лот* (рис. 19). Все его устройство состояло из груза и тонкого троса (лотлиня), к которому он крепился. В лотлинь вплетались отметки — марки мер глубины — саженей и футов. Наблюдатель, или лотовый, как его называли, становился на нос и забрасывал груз вперед по ходу судна. Когда груз касался дна, а лотлинь принимал вертикальное положение, по марке замечалась глубина под килем.

О таком способе измерять глубины вблизи берега упоминал еще в V в. до н. э. древнегреческий историк Геродот.

Но вернемся к мореплавателям эпохи Великих географических открытий. Все они, отправляясь в дальние походы, имели в своем распоряжении уже целый набор

навигационных инструментов и приборов: компас, астролябию, лаг, лот и, конечно, песочные часы. Однако из-за того, что все инструменты были неточными, а влияние ветра и течения если и учитывалось, то лишь приближенно, суда нередко оказывались в сотнях миль от предполагаемого места.

Неточность плавания приводила порой к серьезным казусам. Так было с Х. Колумбом, когда, возвращаясь в 1493 г. к родным берегам после открытия Америки, он, определив широту, не мог точно сказать, где все-таки находится его судно — перед Азорскими островами или они давно остались позади. Сильный шторм усугубил неуверенность, что заставило Х. Колумба выбросить на всякий случай в океан бочонок с сообщением о своем открытии Нового Света. К счастью, все обошлось благополучно, и великий мореплаватель добрался до берегов Испании. Здесь он убедился, что его помощники, определяя долготу по пройденному расстоянию, разошлись в расчете более чем на 400 миль!

Другой пример. В XVI в. испанским мореплавателем Менданья де Нейрой были открыты Соломоновы острова, но из-за неточного определения их местоположения они затем почти на два столетия были „потеряны” и открыты вновь лишь в 1767—1768 гг.

Иногда на поиски берегов уходили целые недели и месяцы. Даже в начале XVIII в. попасть точно в пролив Ла-Манш между побережьем Франции и о. Великобритания было делом нелегким. Так случилось с английской эскадрой адмирала Клаудисли Шовела, которая в хмурую штормовую сентябрьскую погоду 1707 г. не смогла отыскать пролив и оказалась на камнях вблизи островов Силли.

Все эти беды происходили главным образом оттого, что моряки не могли в то время определенно ответить на самый главный для них вопрос: в какой точке океана находится судно. Ведь если широту хотя бы и ориентировочно в ясную погоду они могли как-то измерить, то уточнить долготу не умели совсем и полагались лишь на очень приближенное счисление ее по данным компаса и лага. По этой причине капитаны в то время чаще вели корабль не по прямой — самому короткому пути из точки в точку, а ходом шахматного коня. Сначала спускались или поднимались вдоль берега до нужной широты и лишь затем поворачивали на восток или на запад.

Проблема определения долготы многие века волновала и простых моряков и великих ученых, стремившихся решить эту важную задачу. Не справились с ней ни Галилео Галилей, ни Исаак Ньютон, раскрывшие многие тайны движения небесных светил.

Однако и в этом вопросе ученым и мореплавателям помогли наблюдения за небом.

Давно было замечено, что полдень, т. е. время, когда солнце достигает максимальной высоты над горизонтом, в разных точках океана наступает в разное время. Если, например, у берегов Африки в районе экватора в полдень поставить часы на 12.00 и отправиться строго на запад, то можно заметить, что полдень на следующие сутки наступит по часам в другое время, например, в 12.10, через сутки, еще позже и т. д. Как вы, конечно, догадались, это происходит из-за вращения Земли вокруг своей оси. В нашем случае судно за сутки успело уйти от берегов Африки на запад на расстояние, которое Земля преодолевает в своем вращении за 10 мин. Если за 24 ч Земля делает оборот на 360 град., то за 10 мин она поворачивается на 2,5 град., что соответствует 150 милям. Значит, за сутки наше судно, двигаясь на запад, преодолело 150 миль.

Таким образом, измерить долготу можно, определив разность местных времен в двух точках — исходной и определяемой. Установленные по местному времени часы в исходной точке перевозят в другую и определяют по ним момент наступления полдня или момент прохождения какой-либо звезды через меридиан второй точки. Часы выполняют роль хранителя времени исходного пункта. Другими словами, разность долгот двух точек на земной поверхности равна разности значений местного времени в этих точках в один и тот же физический момент.

Первым, кто предложил воспользоваться часами для определения долготы в море, был фризийский историк Гемма Фризий (1495—1552), опубликовавший в 1530 г. работу „Принцип астрономической космографии”. Совершенно очевидно, что для определения долготы по этому методу нужны очень точные часы. Ни песочные, ни обычные механические здесь не помогут.

В 1707 г. после очередной крупной морской катастрофы с многочисленными жертвами Британский парламент назначил премию в 20 тыс. фунтов стерлингов тому, кто найдет приемлемый способ определения долготы. В 1714 г. было организовано специальное Бюро долгот для рассмот-

рения предложений. Эта задача заинтересовала Джона Харрисона, сына йоркширского плотника. Созданная им в 1761 г. модель специальных высокоточных часов — хронометра позволяла определять долготу уже с ошибкой не более двух миль. Копией именно этой модели пользовался капитан Джеймс Кук во втором своем плавании (1772—1775). По возвращении в Англию Кук подтвердил, что хронометр оказал ему неоценимую помощь, после чего этот прибор медленно, но верно стал проникать на корабли и суда. Многовековая мечта мореплавателей сбылась.

Отсчет долгот в настоящее время ведется от условного нулевого меридиана, который в виде надраенной до блеска медной полосы заделан в землю в районе города Гринвича под Лондоном.

Таким образом, задача хронометра — хранить время начального гринвичского меридиана, т. е. местное время г. Гринвича.

Развитию и совершенствованию навигационных приборов в те времена во многом препятствовало стремление мореплавателей во избежание конкуренции хранить открытия и изобретения в глубокой тайне.

16 января 1772 г. из Порт-Луи на о. Маврикий на юг в поисках Южного континента на военно-транспортном судне „Фортюн” отправился французский гидрограф Жозеф де Коргелен. Завистники и недоброжелатели сделали все, чтобы на борту у него не оказалось уже известного, но еще редкого для того времени инструмента — хронометра. Это привело к тому, что место открытого им архипелага, названного впоследствии его именем, было определено с ошибкой по долготе в 240 миль, т. е. примерно в 450 км.

В 1820 г. во время экспедиции в Антарктиду Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева на борту шлюпов „Восток” и „Мирный”, которыми они командовали, были уже весьма точные хронометры, что позволило М. П. Лазареву отметить: „Были на Таити для поведения своих хронометров, которые оказались верны, а потому и заключить можем, что открытия наши положены на карты с довольною точностью”¹.

Можно утверждать, что магнитный компас, лаг, лот, секстан и хронометр открыли широкие горизонты для мо-

¹ Лемешук Г. П. Из города на Неве. Л., 1984. С. 51.

реплавания. И все-таки океан продолжал оставаться грозным и опасным. Трудно приходилось морякам в дождь, снегопад и туман. В этом случае не видно не только светил, по которым можно было бы уточнить свое место, но возникает и большая опасность столкнуться со встречным судном или наскочить на скалы. Ведь горизонтальная видимость при морском тумане уменьшается до 1 км и меньше. Суда в этих случаях снижают скорость и подают условные звуковые сигналы. Но не всегда это помогало. Не меньшие неприятности приносили морякам и „белые монстры”— айсберги. Специалисты считают, что ежегодно от ледников, стекающих с Гренландской ледяной шапки, отламывается до 10—15 тыс. айсбергов. Размеры их могут достигать нескольких километров в длину и ширину и более сотни метров в высоту. Подхваченные течением, айсберги выносятся в Атлантику в районы судоходных морских путей и появляются иногда даже в широтах Бермудских и Азорских островов. Встреча с плавучими островами в тумане или ночью капитанам прошлого ничего хорошего не сулила. Именно айсберг явился причиной самой трагичной в истории мореплавания катастрофы. Апрельской ночью 1912 г. в 23 ч 40 мин один из крупнейших пассажирских лайнеров XX в. „Титаник” в относительно хорошую ночную видимость и при спокойном море столкнулся в Северной Атлантике с айсбергом, в результате чего в его борту образовалась пробоина длиной почти в 100 м и через два с половиной часа лайнер затонул с 1503 пассажирами на борту и бесценным манускриптом Омара Хайама „Рубайат”.

После гибели „Титаника” в Северной Атлантике была организована ледовая патрульная служба, включающая в себя суда и самолеты. В ее задачу входит предупреждение мореплавателей о появлении в районах судоходства айсбергов и направлении их движения. С начала работы Международного ледового патруля в Северной Атлантике число столкновений с айсбергами существенно уменьшилось. Однако заслуга здесь не только патрульной службы, но и радиотехнических средств навигации, появившихся на судах после гениального изобретения радио русским ученым А. С. Поповым. Радио не только связало суда с берегом и между собой беспроводной связью, но и оказало решающее влияние на обеспечение безопасности плавания на море.

Уже в 1897 г.— через два года после демонстрации

А. С. Поповым в г. Кронштадте первых опытов беспроводной связи было обнаружено интереснейшее явление: когда между крейсером „Африка” и судном „Европа” во время их радиосвязи встал крейсер „Лейтенант Ильин”, связь нарушилась. Так было обнаружено, что высокочастотные радиоволны способны отражаться от препятствий. Этот эффект лег в основу радиолокации и радиопеленгации, сыгравших очень важную роль в обеспечении безопасности плавания. Радио подарило штурманам не только радиолокатор и радиопеленгатор, имеющие небольшую дальность действия. Трудami советских ученых Н. Д. Папалекси, Л. И. Манделъштама и Е. А. Щеголева была разработана теория, которая легла в основу создания семейства радионавигационных систем, позволяющих штурману уточнять свое место на больших удалениях от берега и в любую погоду. Правда, сеть радионавигационных систем покрывает не весь Мировой океан и с удалением от берега точность таких систем ухудшается. Но запуск 4 октября 1957 г. в СССР первого искусственного спутника Земли позволил решить проблему. Этот запущенный в небо спутник можно сравнить со звездой, которая движется по строго определенной орбите. Принимая информацию от спутника с его орбиты и измеряя с помощью бортовой аппаратуры его положение на небосводе, можно точно определить свои координаты. При этом наблюдать за такой искусственной звездой в отличие от реальной никакая погода не мешает.

Так была осуществлена многовековая мечта мореплавателей: знать всегда и везде, где бы ни находилось судно, его точные координаты, курс, скорость и всю обстановку, которая его окружает.

Мореплавателям эпохи Великих открытий навигационное вооружение современных судов показалось бы фантастическим.

Как устроены все эти современные замечательные приборы, позволяющие штурманам безопасно и точно водить суда в океанах и морях, будет рассказано в следующих главах.



2

ИЗМЕРИТЕЛИ КУРСА СУДНА И ИНЕРЦИАЛЬ- НЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

§ 4. МАГНИТНЫЙ КОМ- ПАС — ДРЕВНЕЙШИЙ НАВИГАЦИ- ОННЫЙ ПРИБОР

В основе устройства магнитного компаса лежит свойство магнитной стрелки располагаться вдоль магнитных силовых линий и одним концом показывать на северный магнитный полюс, а другим на южный.

Одна из самых ранних конструкций компаса, дошедших до нас благодаря найденным древним описаниям, — соломинка с намагниченной иглой внутри, плавающая в сосуде с водой. О таком же компасе упоминается в песне трубадура Гийо из Прованса (1190 г.). Известны и многочисленные рисунки, изображающие компасы древности в виде металлической рыбки, плавающей в чаше с водой и головой указывающей на север, намагниченной стрелки, подвешенной на тонкой нити и свободно вращающейся вокруг вертикальной оси, и др. В документах, относящихся к 1248 г., обнаружено описание конструкции компаса, в котором намагниченная игла поддерживается в сосуде на поверхности жидкости с помощью двух пробок.

Имеются сведения, что в XII в. русские поморы, совершая плавание к острову Шпицберген (Грумант), использовали в качестве компаса магнитную иглу в костяной оправе.

В 1269 г. вышло в свет „Послание о магните Пьера де Марикур по прозванию Перегрин к рыцарю Сигеру де Фококур”, в котором приведено описание компаса с магнитной стрелкой, укрепленной на вертикальной оси и вращающейся вместе с нею в сосуде с жидкостью и с отметками на корпусе для взятия пеленгов.

В своем трактате французский ученый и фортификатор Пьер де Марикур впервые высказал мысль о том, что

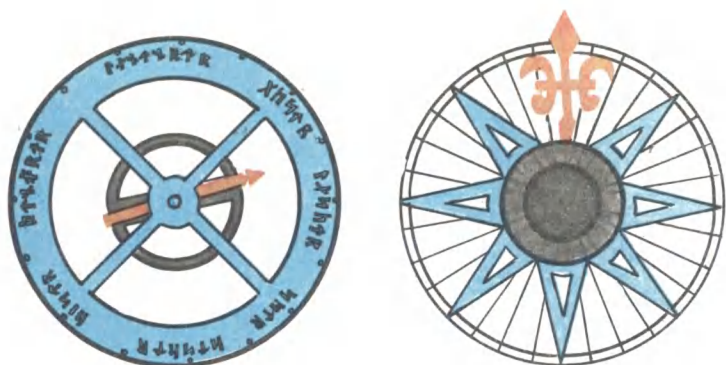


Рис. 20. Картушки магнитных компасов XIV—XVI вв.

стрелка компаса притягивается не Полярной звездой, как считали китайские естествоиспытатели, а силами, созданными самой Землей.

В начале XIV в. итальянский капитан Флавио Джойя присоединяет к деревянному брусочку с намагниченной иглой круглый диск с нанесенными названиями стран света *картушку* (рис. 20). Несколько позднее для более удобного определения по показаниям прибора направления ветра картушку стали делить на направления — румбы (вначале на 16, затем на 32). Четыре румба считались главными — норд (север), зюйд (юг), ост (восток), вест (запад).

В XVII в. компас уже имел вид, изображенный на рис. 21. Конструкция его была проста, а форма во многом напоминала современную. Магнитная стрелка с картушкой, разделенной на румбы, устанавливалась на шпильку, закрепленную в днище сосуда-котелка, заполненного жидкостью и закрытого сверху стеклянной крышкой. Котелок с помощью карданных колец подвешивался в деревянном ящике, что позволяло компасу во время качки сохранять положение, близкое к горизонтальному.



Рис. 21. Магнитный компас XVII в

Изготавливали в это время магнитные компасы и в России, главным образом в Поморье. Они представляли собой коробочку диаметром около 5 см из кости, дерева или меди. В центре коробочки на шпильке помещалась картушка с намагниченной иглой. Такой компас поморы называли „маткой”. Согласно изданной в 1692 г. книге Н. Витзена „Северная и Восточная Татария”, компасами пользовались мореплаватели и в районе рек Колымы, Лены и Яны.

Компас считался точным прибором, требующим бережного и аккуратного обращения. Поморы хранили компас у пояса в специальном кожаном мешочке. За компасами на судах устанавливался специальный надзор. Согласно старинным документам, один из матросов был повешен на рее за то, что продырявил котелок в надежде утолить жажду заполнявшей его жидкостью.

Петр I требовал в морском уставе: „Должен компасы добрым мастерством делать и смотреть чтобы иглы, на чем компас вертится, были остры и крепки, и не скоро б смалывались. Также чтобы проволока на компасе к норду и зюйду крепко была натерта магнитом, дабы компас мог быть верным, в чем надлежит крепкое смотрение иметь, ибо в том зависит ход и целостность корабля”¹.

Показаниям компаса моряки в то время доверяли без сомнений и считали, что стрелка его всегда показывает туда, где в ночное время светится Полярная звезда, т. е. на север. Однако уже в XIV—XV вв. мореплаватели заметили, что магнитная стрелка нередко отклоняется от географического меридиана. (Вначале считали, что это происходит от потери магнитных свойств материала, из которого сделана стрелка, и от неточных наблюдений.) Х. Колумб, обнаружив на второй неделе своего плавания отклонение магнитной стрелки от установившегося положения относительно Полярной звезды, был настолько уверен в показаниях компаса, что усомнился в постоянстве положения Полярной звезды над Северным полюсом. Тем более, что при удалении от берегов Европы к западу отклонение стрелки все больше возрастало. Это явление чуть не вызвало бунт команды, таким необычным показалось оно матросам.

С развитием науки о магнетизме было установлено, что это отклонение, названное *магнитным склонением*,

¹ Голенко В. И. Курс — север. Мурманск, 1978 С. 21.

обусловлено различным положением географического и магнитного полюсов Земли и наличием магнитных аномалий.

Величина склонения не везде одинакова и зависит от географического места. Она может быть измерена, нанесена на карту и учтена при расчете курса.

Первые измерения магнитного склонения относятся к началу XVI в. Во время путешествия в Индию французский мореплаватель Де Кастро замерил склонение в 43 географических пунктах. В 1698 г. Английским Адмиралтейством для съемки магнитного поля было снаряжено специальное судно „П. Пинк” под командованием Эдмунда Галлея, впоследствии королевского астронома, который составил первую карту магнитных склонений. В начале XVII в. такие измерения были произведены в Южной Атлантике.

Наблюдениями магнитного склонения занимались во время своих плаваний И. Ф. Крузенштерн, Ю. Ф. Лисянский (корабли „Надежда” и „Нева”, 1803—1805 гг.), О. Е. Коцебу (бриг „Рюрик”, 1815—1818 гг.) и другие русские мореплаватели.

Магнитное поле Земли в больших масштабах изучают и в настоящее время. Важные результаты были получены в последние годы наблюдениями с советского немагнитного судна „Заря”, осуществляющего магнитную съемку Мирового океана, а также со спутников и космических кораблей.

С открытием причин магнитного склонения и установлением возможности его учета репутация магнитного компаса, как прибора, надежно указывающего курс, была восстановлена, однако в конце XVII — середине XVIII вв. недоверие к компасу возникло вновь, когда рядом исследователей и капитанов судов было обнаружено, что компас, установленный в одном и том же месте, на разных судах дает разные показания, кроме того, с изменением курса изменяется и величина погрешности прибора.

Совсем загадочно и необъяснимо стала вести себя магнитная стрелка на железных и стальных судах, спускавшихся со стапелей судостроительных заводов в середине XIX в. Немало катастроф, происшедших в этот период, связывали с большими ошибками в показаниях компаса. Так, в 1853—1854 гг. при загадочных обстоятельствах один за другим погибают шесть считавшихся самыми крупными в то время пароходов и среди них но-

вейшее стальное судно „Тейлор”. После выхода из Ливерпуля судно попало в жестокий шторм и разбилось о скалы у берегов Ирландии. Расследование показало, что причиной катастрофы явилась большая погрешность магнитного компаса (до 45°), по которому капитан вел судно. Это обстоятельство озадачило специалистов; перед выходом в море у компаса была определена и уничтожена девиация и прибор был тщательно проверен.

По мнению историков мореплавания, остальные пять пароходов стали также жертвой неправильного определения курса.

В 1854 г. доктор богословских наук, бывший английский моряк Уильям Скорсби выступил с сенсационным заявлением о том, что приобретенный судном магнетизм изменяется под влиянием ударов волн и вибраций, что приводит в конечном итоге к появлению больших погрешностей в показаниях компасов.

Понадобилась большая и многолетняя работа многих крупнейших ученых и исследователей того времени, чтобы объяснить это явление, связанное с влиянием на магнитный компас судового металла.

Магнитное поле деревянных судов было простым, т. е. не искаженным магнитным полем Земли в географическом месте нахождения судна. Магнитное поле каждого современного корабля, насыщенного железом и сталью, является сложным комплексным полем, состоящим из магнитных полей, созданных различными источниками. Характер такого поля определяется конструкцией судна, материалом, из которого оно построено, временем, прошедшим с момента создания судна, магнитным курсом, на котором оно находилось в момент постройки, характером и районом плавания судна после спуска на воду и др. На магнитную стрелку компаса, помещенного в такое комбинированное поле, воздействуют, таким образом, магнитные силы, изменяющиеся по различным законам. Одни из них действуют постоянно, другие изменяются с изменением курса, третьи — с изменением широты. Позже было обнаружено, что силы судового магнетизма изменяются и под влиянием качки.

Так как направление результирующего поля в месте установки компаса отличается от направления магнитного поля Земли, магнитная стрелка компаса располагается не вдоль магнитного меридиана, а составляет с ним некоторый угол, названный *девиацией*. В зависимости от

характера воздействия магнитных полей судового железа на компас различают:

постоянную девиацию, не зависящую ни от курса, ни от магнитной широты;

полукруговую девиацию, дважды изменяющую свой знак при изменении курса на 360° и зависящую от широты;

четвертную девиацию, четыре раза меняющую знак при изменении курса на 360° и не зависящую от широты;

кренную девиацию, возникающую на качке и непрерывно изменяющуюся с изменением крена судна;

электромагнитную девиацию, создаваемую магнитным полем, возникающим в контурах с током и имеющую полукруговую, четвертную и кренную составляющие.

Суммарная девиация компаса на качающемся судне может достигать таких величин, что пользоваться им становится невозможно, если не принять соответствующих мер. Поэтому с изучением явления девиации стали искать способы борьбы с нею. Одним из наиболее эффективных путей является создание с помощью дополнительных средств — магнитов и электромагнитов компенсирующих полей, нейтрализующих воздействие возмущающих сил.

Магнитные компасы, устанавливаемые на современных судах, бывают самых различных типов и размеров. Наибольшее применение находит компас со стрелочным магнитным чувствительным элементом.

Рассмотрим устройство магнитного компаса КМ100-1, предназначенного для малых судов морского, речного и рыбопромыслового флотов.

Основная часть этого компаса — чувствительный элемент, представляющий собой систему из нескольких параллельных постоянных магнитов — компасных стрелок. Магниты для чувствительного элемента компаса изготавливают обычно из сплава железа, никеля и кобальта с высокой магнитной восприимчивостью. К магнитам-стрелкам жестко крепится выполненная из немагнитного материала катушка компаса, на внешней стороне которой нанесены с интервалом в 1 градус 360 делений. Отсчет ведется от точки 0 (N), совпадающей с „чувствующими” север концами компасных стрелок, по часовой стрелке. Наряду с делениями на катушку, как правило, наносят и четвертные румбы. В центре катушки находит-

ся поплавков, служащий для уменьшения массы чувствительного элемента в жидкости. В центре поплавка находится конус, ограничивающий угол наклона картушки. В центре конуса имеется шпилька в виде стержня из твердого сплава (рис. 22), опирающаяся на подпружиненное опорное устройство, жестко связанное с корпусом котелка.

Для того чтобы снизить давление на шпильку, уменьшить трение при вращении и колебаниях картушки при движении судна и на качке, латунный резервуар-котелок, в который помещается магнитный чувствительный элемент, заполняется специальной незамерзающей кремнийорганической жидкостью. Для компенсации изменения объема компасной жидкости при изменении температуры котелок имеет компенсационную камеру, заполненную частично жидкостью, частично воздухом. Сверху котелок компаса закрыт стеклянной крышкой на резиновой прокладке, обеспечивающей возможность наблюдения за картушкой. На внутренней стороне котелка в носовой его части на уровне картушки установлен курсовой указатель.

Поворачиваясь вместе с судном и котелком вокруг удерживаемой магнитным полем Земли неподвижной картушки, курсовой указатель дает возможность считывать курс судна. Именно по нему и правит рулевой, удерживая эту черту около заданного деления картушки.

Для освещения картушки в ночное время предусмотрено электрическое осветительное устройство, встроенное в котелок. В аварийном режиме освещение обеспечивается масляными фонарями, расположенными в защитном колпаке.

Если котелок компаса не находится в горизонтальной плоскости, могут быть ошибки в считывании курса, а также возмущающие эффекты от изменения влияния окружающего магнитного поля. Чтобы избежать этого, к нижней части котелка крепится груз, а сам он устанавливается на карданных кольцах в нактоузе (рис. 23).

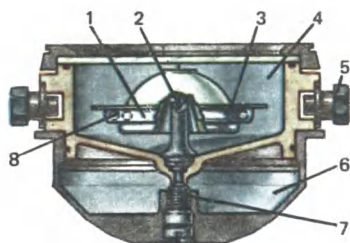


Рис. 22. Котелок компаса КМ100-1

1 — магнитный чувствительный элемент, 2 — опорное устройство, 3 — картушка, 4 — рабочая камера, 5 — кольцо карданового подвеса, 6 — компенсационная камера, 7 — заливочная пробка, 8 — магниты

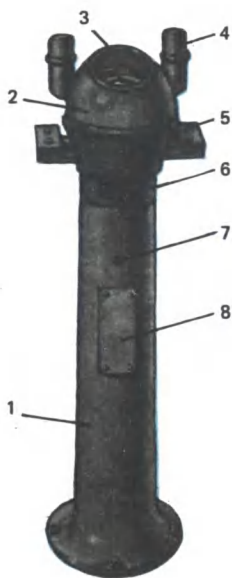


Рис. 23. Магнитный компас
КМ100-1

1 — нактоуз, 2 — защитный колпак, 3 — котелок, 4 — масляный фонарь, 5 — компенсатор четвертной девиации, 6 — крышка, закрывающая доступ к компенсатору полукруговой девиации, 7 — гнездо продольного дополнительного магнита, 8 — крышка, закрывающая доступ к дополнительному креновому магниту

Нактоуз представляет собой немагнитный силуминовый корпус, в котором размещены все части компаса. В верхней части нактоуза кроме котелка установлены компенсаторы полукруговой, креновой, четвертной и электромагнитной девиации.

Компенсаторы полукруговой и креновой девиации выполнены в виде магнитов, поворачивающихся с помощью редукторов, валики которых выведены на лицевую панель компенсатора. Для доступа к девиационному компенсатору в верхней части нактоуза предусмотрено окно, закрываемое крышкой.

Компенсатор четвертной девиации устанавливается рядом с котелком с внешней стороны нактоуза и представляет собой два набора пластин из мягкого железа.

Компенсатор электромагнитной девиации состоит из

пяти катушек с проводом (двух продольных, двух поперечных и одной вертикальной), через который пропускается постоянный ток, создающий в области магнитного чувствительного элемента соответствующие компенсационные магнитные поля. Компенсатор размещен внутри нактоуза.

Компас содержит вспомогательные устройства — защитный колпак от непогоды с окном для съема показаний, регулятор освещения картушки магнитного чувствительного элемента, устройства для пеленгования, т. е. измерения направлений на предметы и небесные светила в целях определения поправки компаса и решения других навигационных задач. Компас КМ100-2 в отличие от КМ100-1 не имеет высокого нактоуза. Его крепление осуществляется с помощью основания. Конструкция компаса

позволяет либо устанавливать его в навигационном пульте, либо использовать в качестве путевого в рулевой рубке. Компас КМ100-3 выполнен в виде переносного прибора и предназначен для установки на шлюпках. Он не имеет осветительного устройства и компенсаторов девиации.

Нередко магнитные компасы делаются дистанционными. В этом случае они снабжаются оптическими или электрическими устройствами для передачи показаний магнитного чувствительного элемента на расстояние.

На каждом компасе после его установки на судне проводятся работы по компенсации его погрешностей. Как правило, полностью компенсировать возмущающие магнитные поля не удается, и поэтому после проведения девиационных работ определяют остаточную девиацию и заносят ее в специальную таблицу, пользуясь которой штурман исправляет показания компаса.

Уничтожение девиации производят периодически. Ее повторяют при большом изменении широты, изменении расположения магнитных масс относительно компаса и проводов с током, ремонте оборудования и в других случаях изменения магнитного состояния судна.

Магнитный компас, позволивший много веков тому назад мореплавателям преодолеть страх перед морем и совершить Великие географические открытия, устанавливается и сейчас практически на всех плавучих морских объектах от шлюпок и подводных аппаратов до океанских лайнеров независимо от их навигационного вооружения. Это обусловлено тем, что магнитные компасы по сравнению с другими измерителями курса имеют следующие преимущества: практически мгновенная готовность к выдаче курса; полная независимость от других источников навигационной информации; простота эксплуатации, монтажа и регулировки; большой ресурс и надежность работы; устойчивость к внешним температурным и вибракустическим воздействиям.

На малых кораблях и судах, где не требуется высокой точности курсоуказания, но большое значение имеют такие факторы, как стоимость, надежность и простота эксплуатации, магнитный компас используется как основной источник курса. На больших кораблях и судах с хорошим штурманским вооружением он, как правило, играет роль резервного или аварийного средства.

§ 5. ОТ ВОЛЧКА К ГИРОСКОПИЧЕСКОМУ КОМПАСУ

Интенсивное развитие военного кораблестроения способствовало все более широкому проникновению на корабли металла.

Во второй половине XIX в. корабли стали одевать в мощную металлическую броню, одновременно росло число пушек и возрастал их калибр. Спущенная в сентябре 1861 г. на Балтийском заводе канонерская лодка „Опыт” имела броню толщиной 115 мм, а броненосцы типа „Первенец”, построенные в 1864—1867 гг., имели на вооружении 30 орудий калибра 152 и 203 мм и такое же число пушек малого калибра. В тот же период начинает проникать на корабли электрический ток.

Такое количество намагниченного металла и растущее число источников электромагнитного поля усложняло использование магнитных компасов. Магнитные массы железа создают не только большую девиацию, но и уменьшают направляющие силы магнитного поля, вследствие чего картушка застывает. Найти приемлемое в магнитном отношении место для их установки становилось все труднее. В связи с этим, несмотря на успешное развитие теории девиации, большой вклад в которую внесли русские и советские ученые К. П. Белавенец, И. П. Колонг, А. Н. Крылов, В. Я. Павлинов, П. А. Дымогаров, Н. Ю. Рыбалтовский и другие, все более остро вставала задача создания курсоуказателя, работа которого не зависела бы от магнитных полей и который указывал не на магнитный, а на географический полюс.

Начало серьезных работ в этом направлении относят чаще всего к 1851 г., когда французский физик Леон Фуко продемонстрировал в Парижской академии опыт обнаружения эффекта вращения Земли с помощью быстро вращающегося симметричного твердого тела.

Простым примером такого вращающегося тела является волчок. С незапамятных времен привлекали внимание людей удивительные свойства волчка. Будучи раскрученным, он, опираясь только одной точкой на основание, не падает, даже если это основание наклонить. Более того, он сохраняет свою ось вращения вертикальной и в том случае, если его толкнуть в направлении, перпендикулярном оси вращения, он лишь отскакивает в сторону. При-

чем, чем быстрее вращается волчок, тем отчетливее проявляются эти свойства.

Заманчивая мысль об использовании волчка в практических целях много лет волновала умы ученых. Не случайно астроном Джон Гершель назвал его инструментом философов.

Первая отмеченная в литературе попытка использования свойств волчка в практических целях относится к 1742—1743 гг., когда английский моряк Д. Серсон создал прибор, который по замыслу должен был заменить в работе с секстаном видимый горизонт. Плоскость искусственного горизонта в его изобретении создавалась с помощью перевернутой металлической чаши, приводимой шнуром в быстрое вращение.

Л. Фуко поместил волчок из тяжелого металла в кардановые кольца, что сделало возможным свободное перемещение его оси вращения в пространстве. Такой прибор он назвал *гироскопом* (от греч. $\gamma\iota\rho\omicron\varsigma$ — вращение, $\sigma\kappa\omicron\lambda\epsilon\iota\nu$ — наблюдатель), подчеркнув тем самым, что с его помощью можно наблюдать свойства вращающихся тел и суточное вращение Земли. Простейшая модель гироскопа изображена на рис. 24.

Поскольку ротор гироскопа тщательно отбалансирован и его центр масс совпадает с центром подвеса, а кардановые кольца допускают возможность вращения его вокруг трех взаимно перпендикулярных осей, пересекающихся в центре подвеса, он находится в положении безразличного равновесия. Такой гироскоп называется *свободным*.

Если в подшипниках кардановых колец полностью устранено трение, ось быстро вращающегося ротора гироскопа будет сохранять в пространстве первоначальное направление, не-

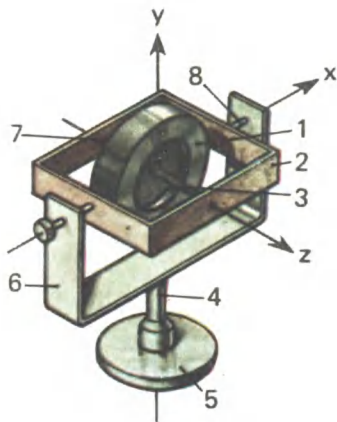


Рис. 24 Лабораторная модель гироскопа

1 — ротор гироскопа, 2 — внутреннее кардановое кольцо, имеющее свободу вращения вокруг оси x , 3 — главная ось вращения гироскопа, 4 — вертикальная ось вращения прибора, 5 — основание, 6 — наружное кардановое кольцо, имеющее свободу вращения вокруг вертикальной оси, 7, 8 — подшипники

смотря ни на какие перемещения всей системы вместе с основанием, в том числе и при вращении Земли. Свойство гироскопа сохранять заданное положение в пространстве называли *гироскопической устойчивостью*.

Таким образом, если первоначально ось вращения такого гироскопа направлена на Полярную звезду, то она должна постоянно сохранять это направление, отслеживая относительное перемещение звезды по небосводу. Очевидно, что положение гироскопа относительно окружающих земных ориентиров будет меняться из-за вращения Земли. Другими словами, гироскоп обладает свойством сигнализировать об угловом движении основания, на котором он установлен. Свойство устойчивости гироскопа проявляется тем отчетливее, чем больше угловая скорость вращения, масса ротора и расстояние от центра вращения, на котором эта масса сконцентрирована.

Второе свойство гироскопа проявляется, когда на его ось вращения начинает действовать сила, стремящаяся изменить положение ротора гироскопа в пространстве. В этом случае ось вращения гироскопа будет отклоняться, но не в сторону действия силы, как это было при отсутствии вращения ротора, а в направлении, перпендикулярном действию этой силы. Это свойство называется *гироскопической прецессией*. Направление прецессии таково, что главная ось гироскопа, если смотреть на нее со стороны, откуда вращение кажется совершающимся против часовой стрелки, всегда стремится кратчайшим путем

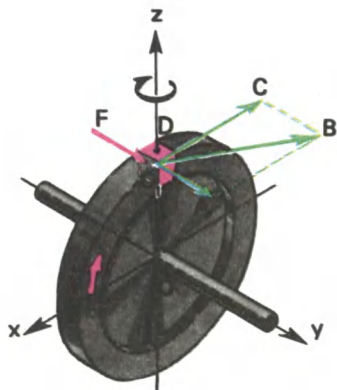


Рис. 25. Физическая сущность прецессии гироскопа

в направлении к оси нового вращения (тоже против часовой стрелки), которое возникло бы при отсутствии гироскопической устойчивости. Очевидно, силы, линии действия которых проходят через центр подвеса, прецессии не вызывают. Прецессия вызывается силами, пытающимися наклонить или повернуть ось вращения ротора вокруг той или иной оси и продолжается до тех пор, пока действуют эти силы. Физическая сущность прецессии показана на рис. 25.

Предположим, что ротор гироскопа в виде колеса с тяжелым ободом вращается вокруг оси O_y по направлению стрелки. Выделим из обода часть D и предположим, что на нее действует сила F . Казалось бы, выделенный из обода кубик должен двигаться в направлении вектора O_1A . Однако ввиду вращения колеса на него действует и другая сила — в направлении вектора O_1C . Следовательно, результирующее его перемещение

будет осуществляться по направлению O_1B , что эквивалентно вращению вокруг оси Oz . Это вращение и представляет собой прецессию, вызванную действием силы F .

Если свободный гироскоп (карданный подвес не изображен) установить на экваторе с осью вращения, совпадающей с направлением восток — запад, то наблюдатель, находящийся в мировом пространстве, будет видеть вращение Земли с востока на запад со скоростью 15 град/ч (рис. 26). При этом, поскольку ось вращения гироскопа вследствие гироскопической устойчивости будет оставаться неподвижной в пространстве, то относительно Земли она будет менять свое положение. Если наблюдатель будет находиться у прибора, то он не заметит вращение Земли. Ему будет казаться, что в пространстве он неподвижен, а ось гироскопа постепенно наклоняется, т. е. ее конец, направленный на восток, приподнимается над горизонтом, а на запад — опускается. Если гироскоп установить на Северном полюсе

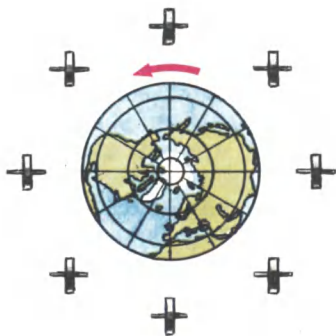


Рис. 26. Видимый уход гироскопа, установленного на экваторе



Рис. 27. Видимый уход гироскопа, установленного на полюсе

Земли таким образом, что в начальный момент его ось вращения будет расположена горизонтально, то наблюдателю, находящемуся в пространстве, гироскоп будет казаться вращающимся вокруг вертикальной оси, а стоящему у прибора будет видно движение оси гироскопа по часовой стрелке (рис. 27). В случае произвольно установленного гироскопа в Северном полушарии наблюдатель, находящийся рядом с ним, увидит, что он вращается частично вокруг вертикальной оси и частично вокруг горизонтальной, т. е. ось гироскопа будет видимым образом перемещаться относительно земных предметов, что обусловлено вертикальной и горизонтальной составляющими угловой скорости вращения Земли в месте установки гироскопа.

Таким образом, свободный гироскоп с технически достижимой точностью может хранить, т. е. удерживать заданное направление в пространстве, однако не может служить указателем курса, поскольку из-за вращения Земли непрерывно изменяет свое положение относительно географического меридиана и плоскости истинного горизонта.

Как превратить его в гироскопический компас и добиться того, чтобы ось гироскопа оставалась все время в плоскости горизонта и отслеживала направление меридиана, т. е. направление на север?

Эта задача решалась учеными много лет и потребовала глубоких теоретических исследований, экспериментальных и инженерных работ. Во-первых, надо было обеспечить постоянную и достаточно высокую скорость вращения гироскопа, чтобы в необходимой степени проявлялись его свойства. Во-вторых, потребовалось научиться сводить к минимуму трение в осях подвеса и тщательно балансировать ротор, чтобы снизить влияние вредных моментов от посторонних сил. В-третьих, надо было найти техническое решение по устранению влияния качки, вибрации и скорости движения судна. И, наконец, необходимо было научиться управлять гироскопом, т. е. заставить его главную ось двигаться с такой же скоростью, с какой вращаются плоскости географического меридиана и истинного горизонта.

Первые схемы гироскопических компасов были предложены французским физиком Труве и американским физиком Гопкинсом в 1878 г. В Англии идеи Л. Фуко были использованы В. Томсоном: в 1884 г. он предложил под-

вешивать гироскопическую систему в жидкости, что позволило уменьшить силы трения.

Первый патент, относящийся к гироскопическому компасу, был выдан в 1886 г. голландскому священнику Максиму Герарду Ван ден Босу. Купивший этот патент немецкий электротехник и промышленник Вернер фон Сименс писал: „Сегодня я заключил договор с двумя голландцами об осуществлении их изобретения — компаса без магнита. Он состоит из вращающихся дисков, которые направляют плавающий в воде корпус точно на истинный полюс Земли. Естественно, что он совершенно не зависит от воздействия железа и от магнитных помех. Эта вещь наделает много шума”¹. Однако купленный патент не оправдал надежд фон Сименса, и спустя восемь месяцев он вынужден был признать: „Ротационный компас также оказался иллюзией”². Причинами неудач были недооценка инженерных сложностей создания прибора и некоторые ошибки, заложенные в его конструкции.

Первый гироскопический компас для использования на море был разработан в 1908 г. лейтенантом Балтийского флота М. Конокотиным. Однако он был подвержен сильному влиянию качки и также не нашел практического применения.

Модель гирокомпаса, пригодная к работе на судне в условиях качки, появилась лишь в 1913 г. Заслуга в его создании принадлежит немецкому философу и инженеру Герману Аншютц-Кемпфе. С этого момента начинается этап широкого внедрения гирокомпасов на морские суда и их интенсивного совершенствования.

Рассмотрим подробнее, с помощью каких технических решений удалось создать гироскопический компас.

Успешному решению инженерных проблем создания гирокомпаса способствовали достижения в области электромеханики и разработка шарикоподшипников, которые стали использовать в осях подвеса гироскопа.

Постоянную и высокую скорость вращения ротора удалось обеспечить благодаря гироскопу с электрическим приводом, созданному в 1865 г. русским ученым Б. С. Якоби. В нем ротор гироскопа является одновременно и ротором электродвигателя.

¹ Магнус К. К истории применения гироскопов в Германии/История механики гироскопических систем. М., 1974. С. 95

² Там же. С. 96.

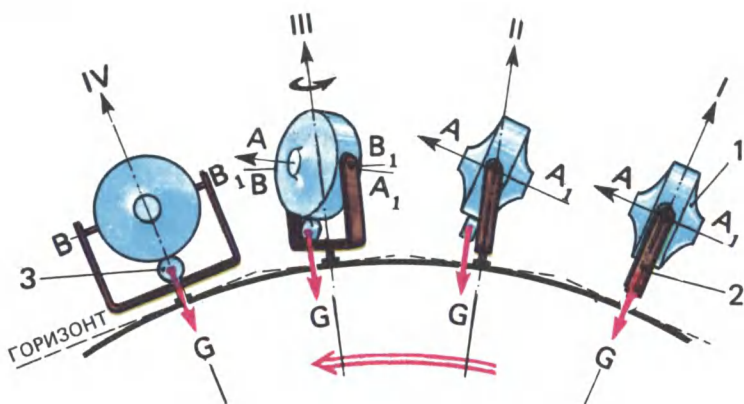


Рис. 28. Принцип работы гироскопа

Заставить гироскоп следить за географическим меридианом можно приложив к нему моменты, которые вызвали бы прецессию главной оси вращения ротора в нужном направлении и со скоростью, соответствующей составляющим угловой скорости вращения Земли. При этом используют явления вращения Земли и действия сил тяготения, а также два свойства гироскопа — устойчивость и прецессию.

Принцип работы гироскопа можно пояснить на следующей упрощенной схеме (рис. 28). Пусть ротор гироскопа для обеспечения свободы вращения во всех плоскостях подвешен в кардановые кольца — внутреннее, выполненное обычно в виде камеры 1, в которой он вращается в подшипниках вокруг главной оси AA_1 , и внешнее 2. В нижней части гироскопа укреплен груз 3, создающий маятниковый эффект относительно оси BB_1 .

Предположим, такой прибор установлен на экваторе, его главная ось горизонтальна и отклонена от меридиана на 90° (положение I). На рисунке видно, что в начальный момент сила тяжести, приложенная к маятнику, проходит через центр подвеса гироскопа, и момент, создаваемый ею, равен нулю. Через некоторый промежуток времени, когда Земля вследствие суточного вращения повернется на некоторый угол, прибор переместится из положения I в положение II. В процессе этого перемещения гироскоп благодаря свойству устойчивости будет стремиться сохранить свое положение неизменным в про-

странстве, и вследствие этого его ось вращения окажется наклоненной в плоскости горизонта. Направление силы тяжести маятника в этом случае уже не будет проходить через центр подвеса, и на гироскоп будет действовать момент, стремящийся повернуть его вокруг оси, перпендикулярной рисунку. Под действием этого момента ось гироскопа вследствие его устойчивости не опустится к горизонту, а начнет прецессионное движение в направлении, перпендикулярном действию силы, т. е. к меридиану (положение *III*) до тех пор, пока не совместится с плоскостью географического меридиана (положение *IV*). Если по какой-либо причине ось вращения гироскопа выйдет из плоскости меридиана, возникнет момент от действия груза, который вернет гироскоп в меридиан.

Такие гироскомпасы, чувствительные элементы (в рассматриваемом случае гироскоп в камере) которых имеют маятниковость, называют гироскомпасами с *непосредственным управлением*, поскольку момент, заставляющий гироскоп приходить в плоскость меридиана и удерживаться в ней, создается силой тяжести, приложенной непосредственно у чувствительному элементу.

Различают гироскомпасы с *косвенным управлением*, у



Рис. 29 Состав приборов гироскопического компаса „Бера”

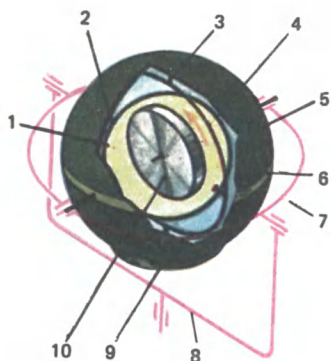


Рис. 30. Схема подвеса гиросблока гиросимуткомаса „Вега”

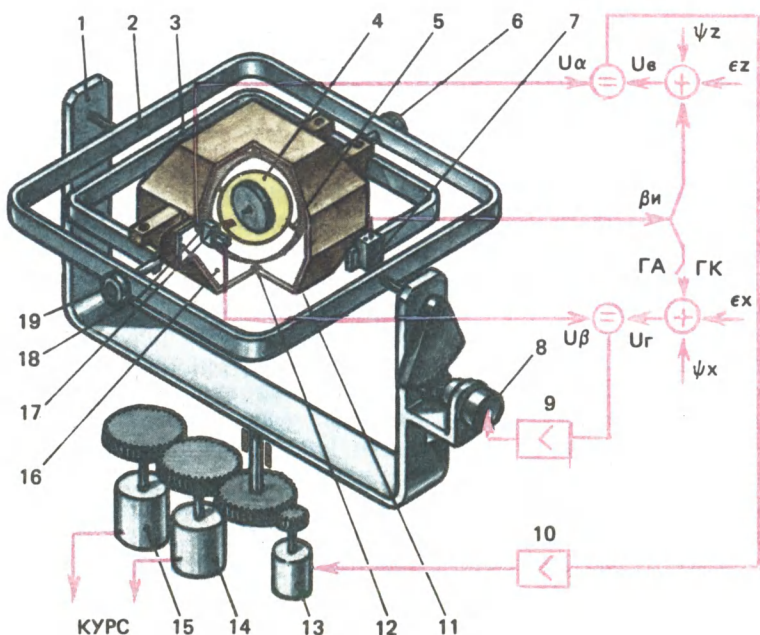
которых момент, заставляющий гироскоп прецессировать к меридиану, создается специальной схемой коррекции по электрическому сигналу. Сигнал снимается с датчика угла отклонения оси гироскопа от плоскости горизонта — индикатора горизонта, представляющего собой высокочувствительный маятник с индукционным съемом угла его отклонения от вертикали. Гироскоп в этом случае является уравновешенным, т. е. не имеет маятникового эффекта. По

такому принципу построен гиросимуткомас (ГАС) „Вега”. Он состоит (рис. 29) из *основного прибора*, вырабатывающего курс, и вспомогательных приборов, обеспечивающих подачу электропитания, запись курса (*курсограф*), выработку сигналов коррекции и трансляцию курса потребителям (*корректор-транслятор*), индикацию курса (*информационные репитеры*) и пеленгование береговых ориентиров и небесных светил для проверки точности работы гиросимуткомаса и определения места судна по пеленгам (*пеленгаторные репитеры*).

Главным узлом основного прибора является трехстепенной поплавковый гиросблок (рис. 30), включающий в себя одногироскопный чувствительный элемент — гиросферу 1 и следящую сферу 5 с элементами стабилизации температуры и съема сигналов рассогласования. Назначение и взаимодействие этих узлов и элементов поясняются ниже.

Гиросфера подвешивается в следящей сфере с помощью двух пар горизонтальных 2 и вертикальных 3 растяжек-торсионов и карданового кольца 4. Торсионы, изготовленные из тонкой стальной проволоки, служат для центрирования гиросферы и наложения управляющих, корректирующих и демпфирующих моментов на гироскопас.

Пространство между гиросферой 1 и следящей сферой 5 заполнено поддерживающей жидкостью, удельный вес которой подобран таким образом, что при рабочей темпе-



ратуре (75°C) гиросфера приобретает нейтральную плавучесть. Центр масс гиросферы совпадает с ее геометрическим центром, т. е. гиросфера не имеет маятниковости.

Питание гиromотора 10 осуществляется через специальные токоподводы, представляющие собой спиральные пружины, намотанные вокруг торсионов. Следящая сфера 5 помещена в установочное кольцо 6, которое с помощью карданового подвеса, состоящего из кольца 7 и полукольца 8, подвешено в корпусе прибора. Груз 9 удерживает следящую сферу в верти-

Рис. 31 Функционально-кинематическая схема основного прибора гироазимуткомпаса „Вега”

1 — вертикальное кардановое полукольцо, 2 — горизонтальное кардановое кольцо, 3 — установочное кольцо, 4 — гиросфера, 5 — горизонтальные торсионы, 6 — поворотный трансформатор, 7 — индикатор горизонта, 8 — двигатель горизонтальной стабилизации, 9, 10 — усилители, 11 — кольцо, 12 — вертикальные торсионы, 13 — двигатель азимутальной стабилизации, 14, 15 — датчики курса, 16 — корпус гироблока, 17, 18 — вертикальная и горизонтальная сигнальные обмотки датчика угла, 19 — масляный демпфер колебаний гироблока при качке судна, U_{α} , U_{β} — электрические сигналы, снимаемые с горизонтальной и вертикальной обмоток датчика угла, U_{γ} , U_{δ} — суммарные корректирующие сигналы, $\beta_{и}$ — электрический сигнал, снимаемый с индикатора горизонта, ψ_x , ψ_z — сигналы, пропорциональные вводимым поправкам для компенсации инструментальных погрешностей

кальном положении, препятствуя ее наклонам вокруг цапф установочного кольца. Измерение углов рассогласования следящей сферы с гиросферой осуществляется с помощью двухкоординатного индукционного датчика угла, статор (обмотка возбуждения) которого располагается на гиросфере, а ротор, состоящий из двух взаимно перпендикулярных обмоток,— на внутренней оболочке следящей сферы. В вертикальной обмотке ротора 17 (рис. 31) вырабатывается сигнал, пропорциональный углу рассогласования следящей сферы с гиросферой в вертикальной плоскости, т. е. углу поворота следящей сферы вокруг горизонтальных торсионов; в горизонтальной обмотке 18 — сигнал, пропорциональный углу поворота следящей сферы относительно гиросферы в горизонтальной плоскости, т. е. вокруг вертикальных торсионов. Для повышения точности и исключения влияния линейного перемещения гиросферы установлено два таких датчика угла — с северной и южной стороны гироблока.

С горизонтальным кольцом, в котором установлена следящая сфера, через редуктор связан двигатель горизонтальной стабилизации 8, установленный на вертикальном полукольце, с вертикальным полукольцом — двигатель азимутальной стабилизации 13, размещенный на корпусе прибора.

Такой подвес гироблока обеспечивает ему три степени свободы относительно корпуса прибора, а следящие системы стабилизации обеспечивают непрерывное согласование следящей сферы с гиросферой, в том числе и при изменениях курса судна.

Для превращения свободного трехстепенного гироскопа в гирокомпас к нему необходимо приложить управляющие моменты, пропорциональные углу отклонения главной оси гироскопа от плоскости горизонта.

В ГАК „Вега” управляющие моменты формируются с помощью индикатора горизонта 7, закрепленного на установочном кольце 3, который жестко связан со следящей сферой так, что его измерительная ось параллельна оси вращения гироскопа. Таким образом, с выхода индикатора горизонта снимается электрический сигнал, пропорциональный углу наклона оси вращения гироскопа относительно плоскости горизонта.

Если предположить, что в начальный момент времени главная ось гироскопа лежит в плоскости горизонта и своим концом, со стороны которого вращение соверша-

ется против часовой стрелки, направлена вдоль истинного меридиана к северу, а следящая сфера согласована с гиросферой, то сигналы с индикатора горизонта и датчиков угла будут отсутствовать (равны нулю), торсионы не будут закручены и к гироскопу не приложатся управляющие моменты.

Если по каким-либо причинам главная ось гироскопа отклонится от меридиана, например к востоку, то под влиянием вращения Земли ее северный конец будет иметь видимый уход в вертикальной плоскости, т. е. приподниматься над плоскостью истинного горизонта. Маятник индикатора горизонта, жестко связанный со следящей сферой, отклонится от вертикали, и на выходе индикатора горизонта возникнет электрический сигнал, пропорциональный углу наклона. После суммирования в противофазе с сигналом двухкоординатного датчика угла и усиления этот сигнал поступает на горизонтальный 8 и азимутальный 13 исполнительные двигатели следящих систем, связанные через редукторы соответственно с горизонтальным 2 и вертикальным 1 карданными кольцами.

Под воздействием поступившего сигнала датчики моментов развернут следящую сферу относительно гиросферы в вертикальной и азимутальной плоскостях соответственно, вследствие чего произойдет закрутка торсионов и к гироскопу будут приложены горизонтальный и вертикальный моменты, пропорциональные углу отклонения главной оси гироскопа от плоскости горизонта. В результате совместного действия этих моментов гироскоп, совершая затухающие колебания, будет приходить в меридиан и плоскость горизонта.

Для компенсации влияния движения судна относительно земной поверхности на датчики моментов подаются выработанные в специальной схеме по данным о широте и скорости судна корректирующие сигналы ϵ_x , ϵ_z , которые создают дополнительную закрутку торсионов, прилагая к гироскопу соответствующие моменты.

При изменении курса судна гироскоп сохранит свое положение в пространстве неизменным, т. е. направленным главной осью вдоль географического меридиана, а следящая сфера, связанная через карданные кольца с корпусом прибора, будет стремиться повернуться вместе с судном. В горизонтальной обмотке датчика угла возникнет сигнал рассогласования, который после усиления поступит на двигатель азимутальной стабилизации.

Последний, разворачивая вертикальное кардановое кольцо, обеспечит сохранение согласованного положения следящей сферы с гиросферой 4. Угол поворота азимутального двигателя 13 и связанных с ним датчиков курса 14, 15 будет равен углу поворота судна.

Гироскопический курсоуказатель „Вега” назван гироазимуткомпасом потому, что кроме основного режима гирокомпаса он может работать в режиме гироазимута, при котором главная ось гироскопа не удерживается в плоскости меридиана, а хранит заданное азимутальное направление. Такой режим работы обеспечивается отключением сигнала с индикатора горизонта, поступающего на горизонтальный датчик моментов.

Т а б л и ц а 1. Точностные характеристики ГАК „Вега”, град.

Режим работы	Условия плавания	Широта плавания, град	
		до 70	до 80
Гирокомпас	Неподвижное основание или ошвартованное судно	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
	Прямой курс, постоянная скорость до 50 уз при качке с амплитудой до 2°	$\pm 0,8$	$\pm 1,5$
	до 25°	$\pm 1,5$	$\pm 2,0$
	Маневрирование со скоростью до 50 уз	$\pm 2,0$	$\pm 2,5$
Гироазимут	Неподвижное судно или прямой курс, качка, маневрирование со скоростью до 70 уз	± 1 град/ч	$\pm 1,5$ град/ч

Основные точностные характеристики ГАК „Вега” приведены в табл. 1.

Кроме ГАК „Вега” на отечественных судах различных классов широко применяются гироскопические компасы с непосредственным управлением и двухгироскопными чувствительными элементами типа „Курс” и „Амур”.

Гироскопические компасы по сравнению с магнитными более точно указывают направление истинного меридиана, их работа не зависит от магнитного поля Земли, показания достаточно устойчивы при качке, а выработанный курс может транслироваться любому потребителю и в любое место судна. Как правило, в состав всех гироскопических компасов входят репитеры для пеленгования,

которые устанавливают на верхней палубе на высоком нактоузе в местах с хорошим обзором окружающей обстановки. На репитерах размещают оптические пеленгаторы для определения компасных пеленгов береговых ориентиров или небесных светил и курсовых углов.

§ 6. ОТ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО КОМПАСА К ИНЕР- ЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОН- НОЙ СИСТЕМЕ

Гирокомпасы являются одним из замечательных технических нововведений первой половины XX в., позволивших повысить точность мореплавания и открывших широкие возможности для создания более совершенных технических средств навигации, в первую очередь, инерциальных навигационных систем (ИНС).

К первым гирокомпасам не предъявлялись высокие требования. Их точность в два-три градуса в начале века вполне устраивала мореплавателей. Однако интенсивное судостроение (постройка высокоскоростных и маневренных судов), расширение географии мореплавания, стремление проникнуть все дальше на север, в том числе и подо льдом, предъявили повышенные требования к средствам определения курса и местоположения судна. Эта аппаратура должна быть полностью автономной и помехозащищенной.

Над этой проблемой работали многие ученые мира. Большой вклад в ее решение внесли советские ученые Е. Б. Левенталь, Б. В. Булгаков, А. Н. Крылов, А. Ю. Ишлинский и многие другие. Результатом их исследований и практической деятельности инженеров самых различных специальностей явилась разработка инерциальных навигационных систем. Инерциальными они названы потому, что принцип их действия основан на измерениях, проводимых в соответствии с законом инерции Ньютона, т. е. на измерениях ускорений.

Первые проекты устройств автономного определения координат, основанных на использовании свободных гироскопов для хранения направлений относительно звезд и физических маятников для определения вертикали, были предложены в начале нынешнего столетия Ж. Керри (США, 1903 г.), В. Алексеевым (Россия, 1911 г.), Ф. Свинном (США, 1911 г.), а первый патент на эту идею был

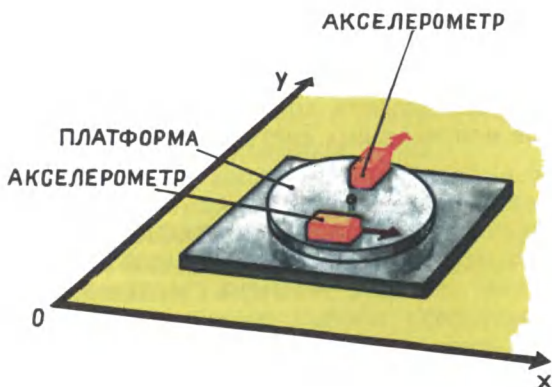


Рис. 32 К пояснению принципа инерциальной системы

выдан в 1928 г. австрийскому офицеру И. М. Бойкову. Более реальная и практически реализуемая схема инерциальной системы была разработана в 1932 г. советскими инженерами Л. М. Кофманом и Е. Б. Левенталем. Однако действующая модель ИНС была построена лишь в 1946 г.

Для пояснения принципа действия ИНС рассмотрим такой пример.

Пусть мы имеем плоскую неподвижную площадку, по которой в любом направлении может двигаться тележка (рис. 32). На тележке установлена платформа с двумя маятниковыми измерителями ускорений — акселерометрами. Платформа смонтирована на тележке таким образом, что при любом ее перемещении оси чувствительности акселерометров не изменяют своего направления, т. е. ось чувствительности одного из них остается все время параллельной оси Ox , а другого — оси Oy .

Предположим, тележка начала свое произвольное движение из точки O с координатами $x = 0$, $y = 0$. Любое изменение режима движения тележки вызовет появление ускорений a , которые создают силы инерции. Все составляющие ускорения по осям x и y (a_x и a_y) будут измерены соответствующими акселерометрами. Если эти ускорения проинтегрировать, получим составляющие скорости тележки v_x и v_y , а проинтегрировав последние — соответственно пройденные расстояния S_x и S_y .

Используя вычислительное устройство, в любой момент времени можно определить положение площадки относительно точки O . Таким образом, если известны начальные координаты, то по измеренным ускорениям можно вычислить на любой момент времени и текущее местоположение.

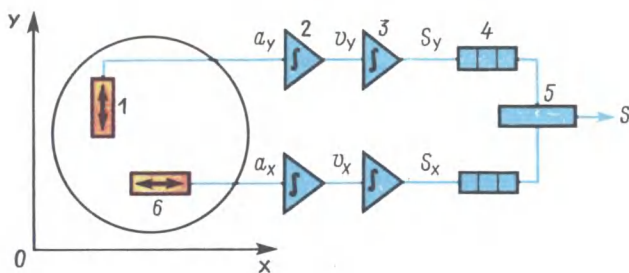


Рис. 33. Функциональная схема простейшей ИНС

1, 6 — акселерометры, 2, 3 — первый и второй интеграторы, 4 — указатель пройденного расстояния, 5 — вычислитель, a_x , a_y — ускорения вдоль осей Ox и Oy , v_x , v_y — скорости вдоль осей Ox и Oy , S_x , S_y — пройденные расстояния вдоль осей Ox и Oy , S — суммарное пройденное расстояние

Функциональная схема простейшей инерциальной системы дана на рис. 33.

Для использования такой инерциальной системы на качающемся и движущемся не по неподвижной плоскости, как в нашем примере, а по сферической поверхности вращающейся Земли судне требуется выполнить ряд условий.

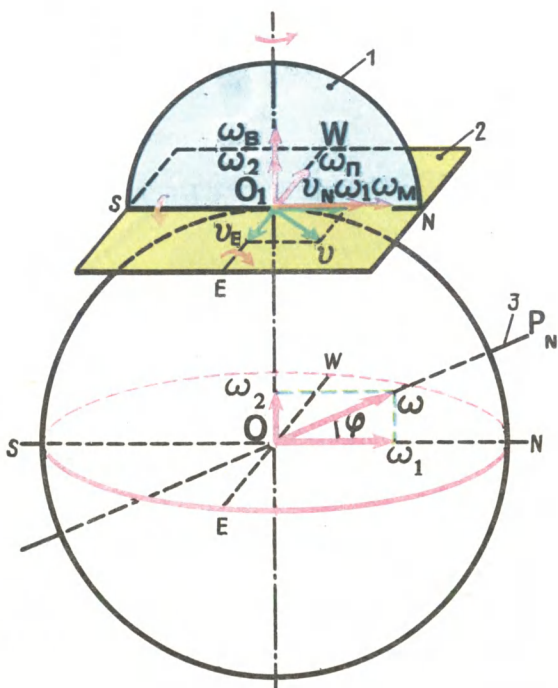
1. Платформа, на которой расположены акселерометры, должна быть всегда строго горизонтальной. В противном случае акселерометры будут измерять не только ускорения судна, но и вредные в данном случае составляющие ускорения силы тяжести на горизонтальные оси.

2. Ориентация акселерометров в пространстве должна быть известной и управляемой, например, ось чувствительности одного акселерометра должна быть постоянно направлена вдоль меридиана, другого — вдоль параллели.

3. Платформу, на которой установлены акселерометры, следует изолировать от угловых перемещений движущегося судна.

4. Должны быть известны начальная скорость и начальные координаты судна, которые вводятся в вычислительное устройство, поскольку для определения скорости и пройденного расстояния используются интеграторы.

Погрешности при выполнении каждого из этих требований приводят к накоплению ошибок в процессе плавания.



Чтобы платформа была всегда в плоскости горизонта, а оси чувствительности акселерометров совпадали с меридианом и параллелью, она должна непрерывно вращаться вокруг отвесной линии, меридиана и параллели с угловыми скоростями (рис. 34):

Рис 34 Угловые скорости вращения плоскостей меридиана и горизонта вследствие суточного вращения Земли и движения судна в месте наблюдателя

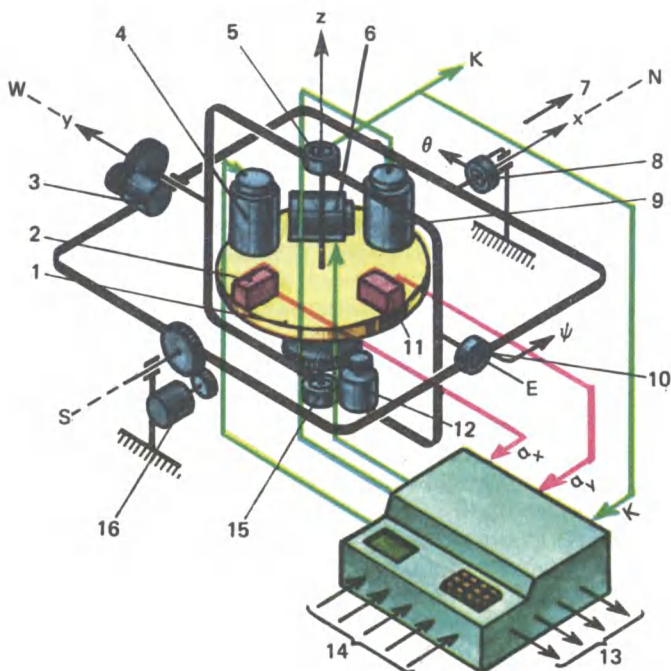
1 — плоскость истинного меридиана места судна, 2 — плоскость истинного горизонта места судна, 3 — ось мира

$$\Omega_{o.л} = \omega_2 + \omega_B = \omega \sin \varphi + \frac{v_E}{R} \operatorname{tg} \varphi;$$

$$\Omega_M = \omega_1 + \omega_M = \omega \cos \varphi + \frac{v_E}{R};$$

$$\Omega_{\Pi} = \omega_{\Pi} = v_N/R,$$

где $\Omega_{o.л}$, Ω_M , Ω_{Π} — угловые скорости вращения платформы вокруг отвесной линии, меридиана и параллели



места соответственно; ω — угловая скорость вращения Земли вокруг своей оси; ω_1 — угловая скорость вращения плоскости истинного горизонта вокруг линии NS ; ω_2 — угловая скорость вращения плоскости меридиана судна вокруг отвесной линии; ω_B — дополнительная угловая скорость вращения плоскости меридиана судна вокруг отвесной линии за счет составляющей скорости судна по параллели; ω_M — дополнительная угловая скорость вращения плоскости истинного горизонта вокруг оси NS за счет составляющей скорости судна по параллели; ω_P — угловая скорость вращения плоскости истинного горизонта вокруг линии OW за счет составляющей скорости судна по меридиану.

Чтобы развязать платформу от угловых перемещений судна, используют несколько рамок карданного подвеса.

Рис. 35. Принципиальная схема одного из вариантов инерциальной навигационной системы

1 — платформа, 2, 11 — акселерометры, 3 — двигатель стабилизации по оси дифферента, 4, 6, 9 — гироскопы, 5, 8, 10 — вращающиеся трансформаторы, 7 — направление движения, 12 — двигатель стабилизации в азимуте, 13 — выходные сигналы, 14 — входные сигналы, 15 — преобразователь координат, 16 — двигатель стабилизации по оси крена, θ — угол крена, ψ — угол дифферента, K — курс

Углы поворота рамок измеряют с помощью датчиков, с выходов которых снимаются сигналы, поступающие в вычислительное устройство и на указатели крена, дифферента и курса.

Упрощенная принципиальная схема варианта ИНС изображена на рис. 35.

Платформа установлена внутри трех рамок карданового подвеса. Каждая рамка имеет свой стабилизирующий двигатель. На платформе установлены три гироскопа (4, 6, 9), оси чувствительности которых взаимно перпендикулярны и во время работы направлены на север, восток и вдоль местной вертикали, и два акселерометра (2, 11), измеряющие ускорения платформы вдоль меридиана и параллели. Значения ускорений a_x , a_y с акселерометров подаются в вычислительное устройство, где путем интегрирования преобразуются в отсчеты скоростей v_N и v_E , пройденных расстояний S_N и S_E , а с учетом введенных начальных условий — в отсчеты изменения широты и долготы.

Платформа стабилизируется относительно отвесной линии, линии NS и линии EW с помощью гироскопов. Стабилизирующий относительно отвесной линии привод состоит из гироскопа 6, усилителя (на рисунке не показан) и двигателя 12, который разворачивает платформу вокруг вертикальной оси. С вычислительного устройства на датчик момента гироскопа 6 подается сигнал, величина которого пропорциональна $\Omega_{о. л.}$, что обеспечивает разворот платформы вокруг вертикальной оси синхронно с вращением меридиана места судна вокруг отвесной линии.

Стабилизирующий привод относительно меридиана включает в себя гироскоп 9, усилитель и двигатель 16. На датчик момента гироскопа подается сигнал, величина которого пропорциональна Ω_m , обеспечивающий разворот платформы синхронно с вращением плоскости горизонта вокруг линии NS .

Разворот платформы вокруг оси EW синхронно с вращением плоскости горизонта вокруг этой линии осуществляется с помощью гироскопа 4, на датчик момента которого из вычислительного устройства подается сигнал. Его величина пропорциональна Ω_p .

Гироскоп 6 стабилизирует платформу при изменении курса судна, а гироскопы 4 и 9 — при качке. В такой схеме ИНС углы поворота двигателей стабилизации соответствуют углам курса, крена и дифферента.

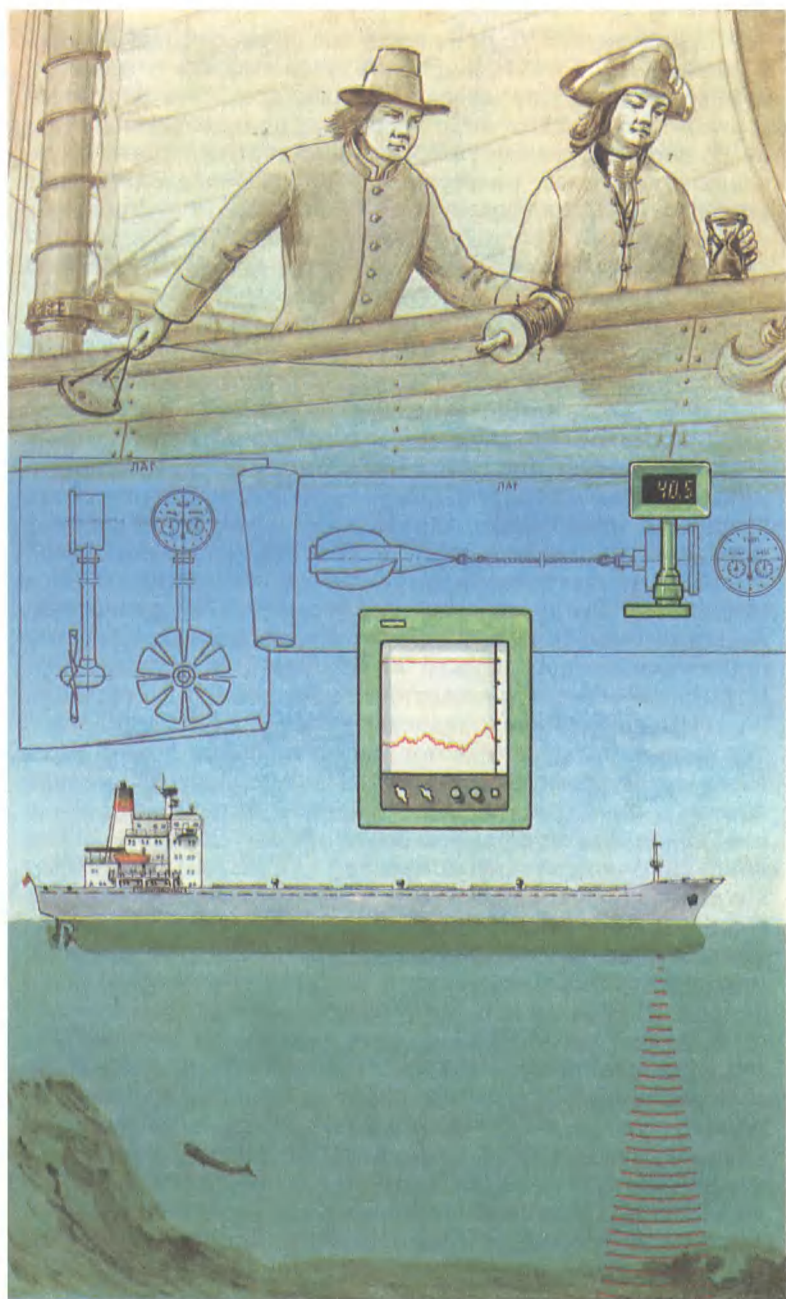
Платформа не должна быть обязательно „привязана” к меридиану. Она может быть и свободной в азимуте, т. е. ее оси могут произвольно располагаться в плоскости горизонта под каким-либо углом к направлению меридиана. В этом случае соответствующие пересчеты для получения пройденных расстояний в географической системе координат выполняются в вычислительном устройстве.

Существуют и другие конструкции ИНС, отличающиеся от рассмотренной ориентацией акселерометров и реализацией отсчетных систем координат.

Как и всякое техническое средство ИНС имеют погрешности, обусловленные неточностями их основных элементов — гироскопов и акселерометров, управляющих элементов, вычислительных устройств, погрешностями начальной выставки и др. Эти погрешности могут быть периодическими или нарастающими во времени. При длительной работе они могут достигать значительных величин и превосходить допустимые пределы. В связи с этим следует периодически корректировать ИНС, т. е. уточнять их выходные параметры, для чего используется информация (о курсе, координатах места) от других технических средств навигации — астрономических, радиотехнических, спутниковых и др. Чем точнее элементы ИНС, тем реже возникает необходимость в коррекции.

Несмотря на этот недостаток ИНС обладают существенными преимуществами перед другими навигационными средствами. Основными из них являются: высокая точность и непрерывность вырабатываемой информации; независимость работы от погодных условий и района плавания; полная автономность, т. е. ИНС не требуют никакого оборудования и ориентиров вне судна; большая номенклатура вырабатываемых параметров — курс, ускорение, скорость, пройденное расстояние, углы качки; способность работать во всех широтах и в течение всего плавания; абсолютная помехоустойчивость.

К недостаткам ИНС следует отнести их зависимость от погрешностей начальных условий, возрастание погрешностей вырабатываемых параметров со временем, а также относительную сложность устройств и обслуживания и вследствие этого высокую стоимость, что ограничивает применение ИНС на судах. Однако дальнейшее развитие техники и совершенствование технологии позволит снизить массогабаритные и стоимостные характеристики ИНС.



3

ИЗМЕРИТЕЛИ СКОРОСТИ И ГЛУБИНЫ

§ 7. ИЗМЕРИТЕЛИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ И УГЛА ДРЕЙФА

Судно в отличие от наземного транспорта не имеет контакта с твердой опорой — Землей. Его корпус перемещается относительно водных масс. Поэтому скорость, измеряемая относительно воды, получила название *относительной*, а приборы, измеряющие ее, — *относительными лагами*.

С древнейших времен и до последних десятилетий на всех судах скорость измерялась только относительно воды, т. е. все лаги были относительными, а для графической прокладки пути судна на морской карте требуется знание скорости и пройденного расстояния относительно суши и береговых объектов. Измеренная относительная скорость будет соответствовать скорости относительно суши только в том случае, если водная масса, в которой находится судно, неподвижна относительно берегов и дна. В действительных условиях морей и океанов водные массы непрерывно перемещаются под воздействием различных сил и поэтому при прокладке судна на карте кроме показаний лагов надо учитывать и его снос течением.

Современные относительные лаги работают по принципу гидродинамического или индукционного измерения скорости.

Гидродинамические лаги

До появления гидродинамических лагов на судах в основном использовались различные модификации вертушечных лагов. Конструкция вертушечных лагов (см. § 3) была простой, и устанавливать их можно было практически на любом судне того времени. Но судостроение

постоянно развивалось. С появлением новых, более крупных судов повысились требования к измерению скорости и недостатки вертушечных лагов стали проявляться все отчетливее. Во-первых, на вращающиеся части вертушки оказывал неблагоприятное влияние непрерывный контакт с морской водой, что приводило к коррозии металлических деталей. Во-вторых, вращению вертушек мешали и нередко ломали ее многочисленные морские животные-моллюски, различные плавающие предметы, водоросли и т. п.

Судоводителям нужен был лаг, способный работать в любых условиях и обеспечивать не только достаточно точное измерение скорости, но и передавать (транслировать) ее в различные посты судна.

Решить эту задачу удалось в начале XX в. созданием гидродинамического лага с электрической дистанционной передачей информации о скорости.

Принцип действия этого лага, как и вертушечного, основан на измерении гидродинамического давления, обусловленного скоростным напором набегающего при движении судна потока воды. Если под днище судна опущены две полые трубки и отверстие первой трубки направлено в сторону движения судна, а второй вниз, то при отсутствии движения судна уровень водяного столба в трубках одинаков и равен статическому давлению, т. е. осадке судна. При движении судна за счет скоростного напора встречного потока воды в первой трубке возникает дополнительное давление P_d и уровень водяного столба повышается на некоторую величину Δh . Во второй трубке уровень водяного столба остается прежним, так как отверстие направлено вниз и набегающий поток не создает в ней дополнительного давления. Давление воды за счет скоростного напора называют *гидродинамическим* (P_d). Оно зависит от скорости судна и может быть выражено следующей формулой: $P_d = K\rho/2v^2$, где K — коэффициент, зависящий от условий обтекания трубки и определяемый опытным путем; ρ — плотность воды.

После элементарных преобразований получим:

$$v = \sqrt{2P_d / K\rho}.$$

Эта зависимость реализована в лагах.

Однако высота водяного столба в первой трубке зависит не только от скоростного напора, но и от изменения

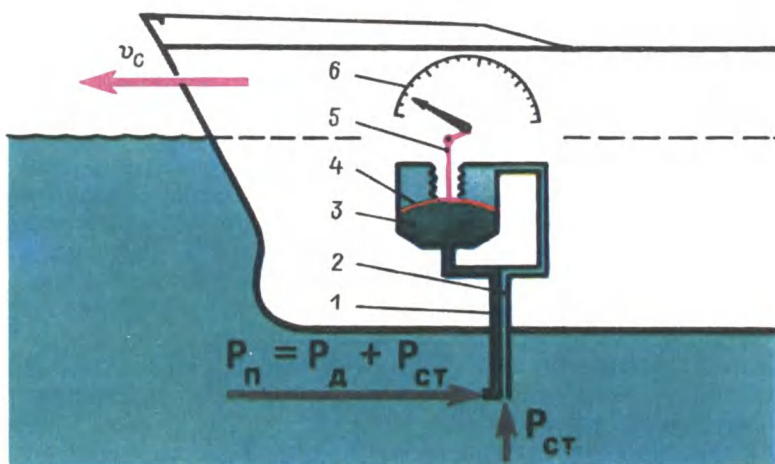


Рис. 36. Принцип измерения гидродинамического давления

осадки судна. Каким образом избавиться от этого нежелательного явления? Как компенсировать изменения статического давления, вызванные изменением осадки судна? Оказывается, это можно сделать с помощью применяемого практически во всех лагах этого типа сифонного аппарата, принцип работы которого поясняет рис. 36.

От двух приемных трубок 1 и 2 вода поступает в сифонный аппарат 3, разделенный мембраной 4. В нижнюю полость сифонного аппарата поступает полное давление P_n от трубки 1, равное сумме динамического давления P_d , вызванного движением судна, и статического давления $P_{ст}$, соответствующего его осадке. В верхнюю полость поступает только статическое давление от трубки 2. С мембраной сифонного аппарата соединен шток 5. При отсутствии движения судна давление в обеих полостях одинаковое и равно статическому. В этом случае положение штока соответствует нулевому значению скорости. Видно, что изменение осадки судна не приводит к изменению положения штока, поскольку давление изменяется как в верхней, так и в нижней полостях сифонного аппарата.

Когда судно начинает двигаться и набирает скорость, динамическое давление возрастает и эластичная мембрана поднимается вверх, одновременно перемещая шток 5.

Соединенная со штоком стрелка займет определенное положение относительно шкалы 6, которое будет соответствовать скорости судна. Однако такое „прямое” измерение скорости неприемлемо прежде всего из-за остаточных непрогнозируемых деформаций мембраны, а также вследствие необходимости передачи информации о скорости судна в штурманскую и ходовую рубки и другим потребителям. Поэтому в современных гидродинамических лагах используется компенсационный принцип измерения.

Преобразование гидродинамического давления в значение скорости осуществляется в центральном приборе лага, состоящем из взаимосвязанных узлов, блоков и деталей, основными из которых являются: сильфонный аппарат; узел скорости; узел пройденного расстояния; регуляторы и корректоры.

Узел скорости преобразует линейное перемещение штока сильфонного аппарата в электрический сигнал, пропорциональный скорости судна. Специальное масштабное устройство преобразует в свою очередь этот сигнал в значение скорости в узлах. Из центрального прибора значение скорости передается на выносные указатели-репитеры, которые устанавливаются на ходовом мостике, в штурманской рубке, в гиропосту и других необходимых местах.

В узле пройденного расстояния электрический сигнал, пропорциональный скорости судна, преобразуется в пройденное расстояние в милях и кабельтовых, которое используется судоводителем для прокладки места судна. И, наконец, регуляторы и корректоры служат для регулировки и ввода в счетную схему постоянных поправок скорости.

Преобразование гидродинамического давления в значения скорости и пройденного расстояния показано на рис. 37. Полное и статическое давление от двухканальной приемной трубки 1 через крановый распределитель 2 поступает в сильфонный аппарат 3. Разность давлений в камерах сильфонного аппарата вызывает перемещение штока 4, который поворачивает рычаг 5. При этом замыкается один из контактов 6, приводя во вращение двигатель скорости 19. Двигатель скорости вращает коноид 12, связанный с ним указатель скорости 11 и сельсин-датчик 20, передающий значение скорости в виде электрического сигнала на репитеры скорости и пройденного расстояния 21. От двигателя 19 также вращается ходовой винт 16 каретки 17 интегратора. Коноид 12 в продольном сечении

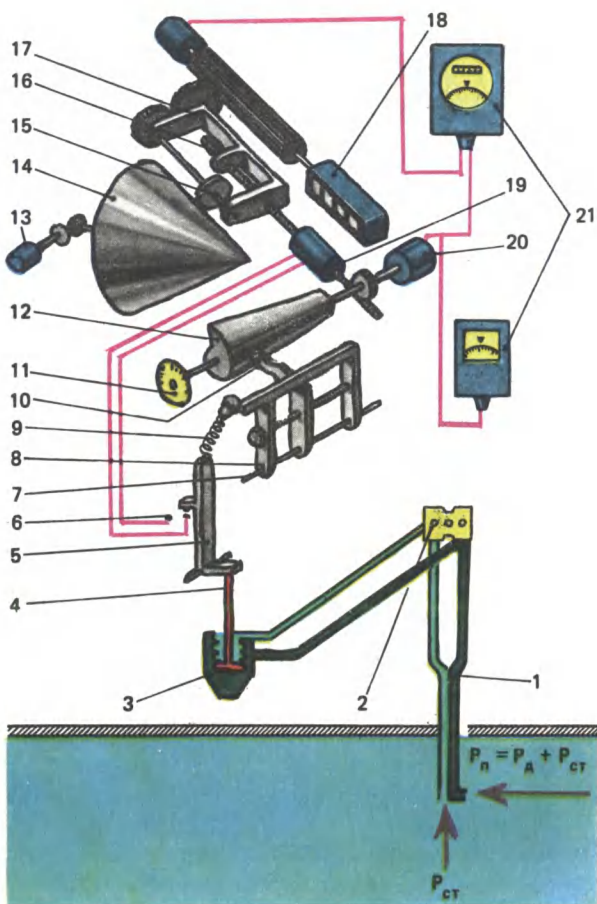


Рис. 37. Кинематическая схема гидродинамического лага

конусообразен, а в любом поперечном сечении его радиус изменяется с углом поворота в соответствии с квадратичной зависимостью динамического давления от скорости. В коноид 12 упирается щуп 10, который при повороте коноида изменяет угол наклона каретки 8 вокруг оси 7, что в свою очередь изменяет направление и силу воздействия пружины 9 на рычаг 5, возвращая его в начальное положение. При этом размыкаются контакты 6

ющей конуса 14. От положения ролика зависят радиус конуса в том месте, где ролик входит с ним в касание и, следовательно, скорость вращения ролика. Таким образом, число оборотов ролика за некоторое время пропорционально интегралу от скорости судна за это же время, т. е. пройденному расстоянию. Вращение ролика 15 через систему шестеренчатых передач обеспечивает работу счетчика пройденного расстояния 18.

На рис. 38 показан внешний вид всех приборов гидродинамического лага МГЛ-25, широко применяемого на судах. В комплект лага входит центральный прибор 4 с сильфонным аппаратом 10, станция питания 1, репитеры 3, приемная двухканальная трубка 13 с клинкетным устройством 12. Станция питания, подключаемая к судовой электрической сети, вырабатывает необходимые напряжения, обеспечивающие работу центрального прибора. На передней панели центрального прибора 4 гидродинамического лага МГЛ-25 расположены: шкала скорости 5; счетчик пройденного расстояния 6; шкала часового регулятора 8; окно для наблюдения за работой сигнального диска электродвигателя пройденного расстояния 7; зеленая сигнальная лампа о подаче электропитания 11; красная сигнальная лампа о неисправности 9.

Информация о скорости и пройденном расстоянии через разветвительные коробки 2 поступает на репитеры двух видов: указатели скорости и пройденного расстояния и указатели скорости. В зависимости от типа судна в комплект гидродинамического лага может входить разное количество репитеров.

Гидродинамический лаг МГЛ-25 обеспечивает измерение относительной скорости судна до 25 уз с погрешностью 0,15 уз. Масса полного комплекта лага (с приемной трубкой и клинкетом) 220 кг. Лаг рассчитан на непрерывную работу в течение трех месяцев.

Индукционные лаги

Несмотря на простоту принципа измерения относительной скорости, гидродинамические лаги имеют ряд существенных недостатков. Прежде всего для работы лага необходимо обеспечить подачу в центральный прибор полного и статического давлений воды. С этой целью в корпусе судна прокладывают специальные трубопроводы со сложной системой кранов. Эта система требует

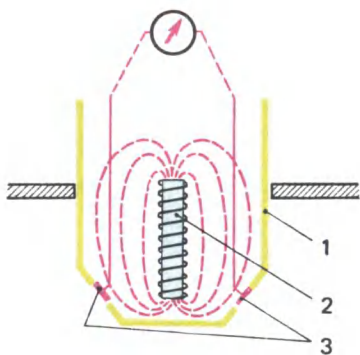


Рис. 39. Первичный преобразователь скорости

практически непрерывного обслуживания, так как с водой по трубам поступает и воздух, находящийся в слоях воды, причем его содержание резко возрастает при качке судна и волнении. Воздух препятствует нормальному поступлению воды в сильфонный аппарат, и его следует периодически удалять из трубопроводов. Наличие минеральных солей в морской воде приводит к „засолению” трубопроводов. Обычной продувкой здесь уже не обойтись. Необ-

ходима работа по их очистке. Наконец, гидродинамические лаги на малых скоростях (до 3—4 уз) работают со значительными погрешностями, а измерять скорость заднего хода они вообще не могут. Вполне понятно, что перечисленные недостатки послужили причиной дальнейшего совершенствования конструкции лагов.

Как известно, в морской воде содержится большое количество минеральных солей, которые придают ей такое замечательное свойство, как электропроводность. Это натолкнуло ученых на мысль использовать для измерения скорости закон электромагнитной индукции, сформулированный Фарадеем в 1831 г. Согласно этому закону электродвижущая сила (ЭДС) электромагнитной индукции в проводящем контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную этим контуром. Благодаря электропроводности морской воды явление электромагнитной индукции возникает также и при ее перемещении относительно магнитного поля. Таким образом, если первичный преобразователь скорости 1 (рис. 39), содержащий электромагнит 2 и измерительные электроды 3, жестко связать с движущимся судном, то, измерив тем или иным способом напряжение, возникающее на измерительных электродах за счет наводимой в воде ЭДС, можно определить скорость перемещения создаваемого электромагнитами магнитного поля относительно воды, т. е. определить значение относительной скорости.

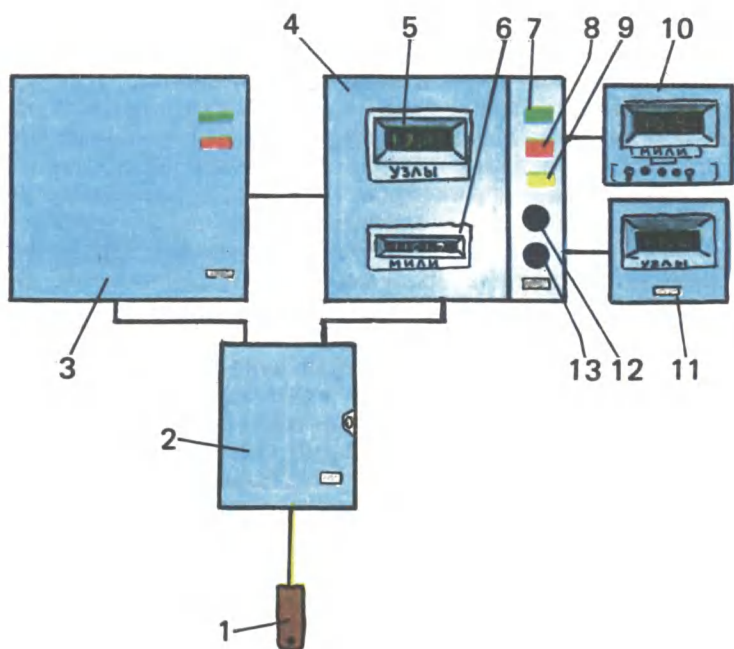


Рис. 40. Индукционный электронный лаг ИЭЛ-2М

Индукционный лаг по сравнению с гидродинамическим имеет следующие преимущества. Во-первых, в нем могут полностью отсутствовать механические узлы и блоки, так как его приемное устройство непосредственно вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный скорости судна. Во-вторых, эксплуатация индукционного лага в море значительно проще, поскольку в нем отсутствует сложная гидравлическая система, требующая специального обслуживания. В-третьих, индукционный лаг обладает более высокой чувствительностью и способностью измерять задний ход судна.

На судах морского флота СССР устанавливаются индукционные лаги ИЭЛ-2М, представляющие собой электронную систему, выполненную с преимущественным использованием полупроводниковых элементов и интегральных микросхем.

На рис. 40 изображен приборный состав лага ИЭЛ-2М. Индукционный первичный преобразователь скорости

(ИППС) 1, запитываемый от станции 3, служит для выработки электрического сигнала, пропорционального скорости, и передачи его в согласующий прибор 2. После соответствующего преобразования и предварительного усиления сигнал поступает в центральный прибор 4, осуществляющий управление работой лага в целом, преобразование электрического сигнала в соответствующее значение относительной скорости, выработку пройденного расстояния и индикацию выработанных параметров на табло прибора.

Центральный прибор имеет систему встроенного контроля за исправной работой тракта измерения скорости, световую индикацию о включении лага и аварийную сигнализацию об отказе блока питания. На передней панели центрального прибора расположены: цифровой индикатор скорости 5; механический счетчик пройденного расстояния 6; зеленое световое табло сигнализации о наличии питания от бортсети 7; красное световое табло сигнализации о неисправности лага 8; желтое о работе лага в режиме ручной установки скорости 9; ручка шкал „узлы” 12, ручка „мили” 13 для регулировки яркости и подсветки.

Центральный прибор обеспечивает выдачу информации на выносные индикаторы (репитеры) 10, 11 и потребителям (гироскопсу, радиолокационной станции, системе управления движением и др.).

На больших судах (лайнерах, танкерах и др.) часто устанавливают дополнительные индикаторы скорости и пройденного расстояния. При этом лаг включает в себя специальный прибор — размножитель информации. К нему могут быть подключены до 7 индикаторов. В составе лага ИЭЛ-2М могут использоваться индикаторы трех видов: скорости, скорости и пройденного расстояния и пройденного расстояния с системой сигнализации. Первые два вида индикаторов традиционны для всех лагов. Кроме них потребовалось создать индикатор с системой сигнализации.

Дело в том, что работа судоводителя кропотливая, трудоемкая и вместе с тем очень разнообразная. У судоводителя нет возможности непрерывно следить за местом судна на карте, ему надо выполнять и другие обязанности — проверять работу гироскопсов, лагов, штурманских приборов, заполнять специальные журналы, производить расчеты и т. д. Вместе с тем одной из основных

его обязанностей остается своевременное сообщение капитану о необходимости выполнения маневра (изменение курса, скорости и т. п.). И здесь незаменимым помощником судоводителя стал этот индикатор. Если по предварительным расчетам судоводителя, например через 12,5 мили, необходимо изменить курс судна (скорость, включить эхолот и т. п.), то с помощью кнопок, расположенных на передней панели индикатора 10, он устанавливает отсчет „12,5”. Вырабатываемое лагом пройденное расстояние поступает на счетчик этого индикатора, который работает на считывание, т. е. непрерывно вычитает из установленного значения пройденное расстояние. Как только на табло индикатора появится нуль, срабатывает сигнализация, означающая, что наступило время маневра.

Принцип построения и конструкции приборов, входящих в состав лага, обеспечивают надежное измерение относительной скорости судна с погрешностью не больше $\pm 0,1$ уз в диапазоне от -2 до 40 уз при следующих условиях: бортовой качке с амплитудой до $\pm 45^\circ$; килевой качке с амплитудой до $\pm 15^\circ$; температуре окружающего воздуха до 40°C ; температуре забортной воды от -2 до 36°C .

Конструкция лага предусматривает возможность быстрого отыскания неисправностей и их устранение путем замены отдельных узлов и блоков без последующей его регулировки.

О надежности лага ИЭЛ-2М можно судить по следующим характеристикам: время непрерывной работы 2500 ч; ресурс 50 000 ч; срок службы 15 лет.

Измерители угла дрейфа

Измеренная относительным лагом (гидродинамическим или индукционным) скорость используется судоводителем для прокладки места на навигационной карте. Снятые со счетчика данные о пройденном расстоянии судоводитель откладывает в масштабе карты по линии курса судна. Таким образом, в любой момент он может определить координаты счислимого места судна. Почему счисляемые, а не истинные? Во-первых, относительные лаги, измеряя скорость судна относительно воды, не могут учесть многочисленные морские течения, отклоняющие судно от намеченного пути, а во-вторых, судно сносит с намеченного пути ветер. Конечно, если направ-

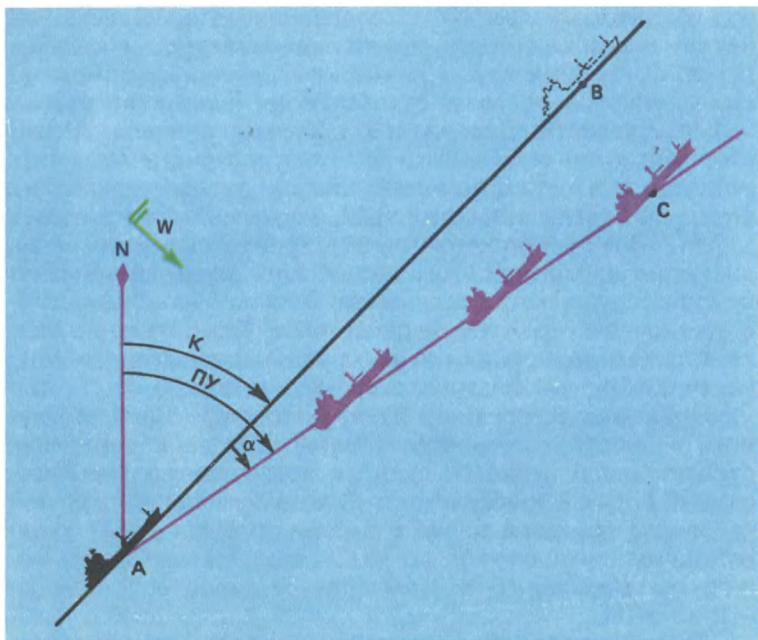


Рис. 41. Дрейф судна

ление ветра совпадает с курсом или отличается от него на 180° (т. е. встречный ветер), то скорость судна относительно воды будет увеличиваться при попутном ветре и уменьшаться при встречном. Сноса судна не будет, а эти изменения скорости будет фиксировать относительный лаг.

Если же ветер направлен под углом к диаметральной плоскости судна, то судно будет иметь дрейф. Перемещение судна под действием бокового ветра показано на рис. 41. Судно следует из точки *A* в точку *B*, но под действием ветра *W* постоянно смещается с курса и в результате придет в точку *C*. Угол между диаметральной плоскостью судна и вектором его относительной скорости, возникающий под действием ветра, называется *углом дрейфа* (α).

Будет ли угол дрейфа настолько велик, чтобы вносить существенные погрешности в счислимые координаты? Оказывается, да. Современные крупнотоннажные суда

имеют длину 200 и более метров. Нетрудно подсчитать, что при высоте борта 10 м площадь, на которую действует ветер, будет составлять 2000 м^2 . Если учесть палубные надстройки, то эта площадь будет еще больше. Вследствие этого дрейф судна может быть значительным ($5\text{—}10^\circ$). Угол дрейфа зависит от скорости ветра и его направления, курса и скорости судна, а также от конструкции корпуса и надстроек. Наиболее опасен дрейф при проходе узкостей и сложных в навигационном отношении районов, при постановке на якорь, бочку, при швартовке и т. д.

В практике судовождения для определения дрейфа обычно пользуются специальными таблицами и графиками, составленными по многочисленным статистическим данным. Определяемый по ним угол дрейфа является довольно приближенным, а частое маневрирование судна и изменение скорости и направления ветра затрудняют их использование. Необходимо измерять угол дрейфа непосредственно на судне. Но как это сделать? Эксплуатация гидродинамических лагов натолкнула конструкторов на интересную идею: использовать принцип измерения скорости гидродинамических лагов для создания гидродинамических дрейфометров.

Предположим, на судне, идущем со скоростью v , установлен гидродинамический лаг. Его приемная трубка находится в специальном устройстве, обеспечивающем ее вращение вокруг вертикальной оси. Когда приемное отверстие трубки расположено в диаметральной плоскости судна, то гидродинамическое давление полностью воспринимается приемной трубкой (рис. 42,а). Если же приемную трубку развернуть вокруг вертикальной оси на угол α , то ее

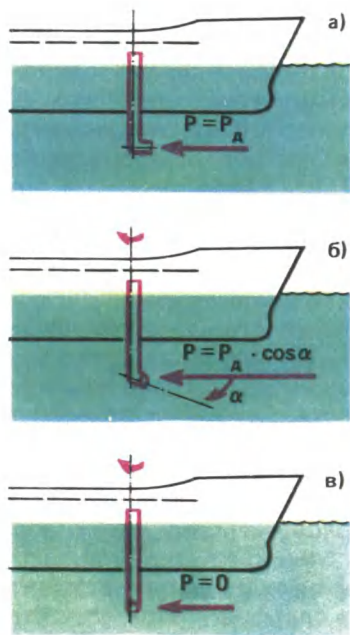


Рис. 42. Принцип измерения угла дрейфа

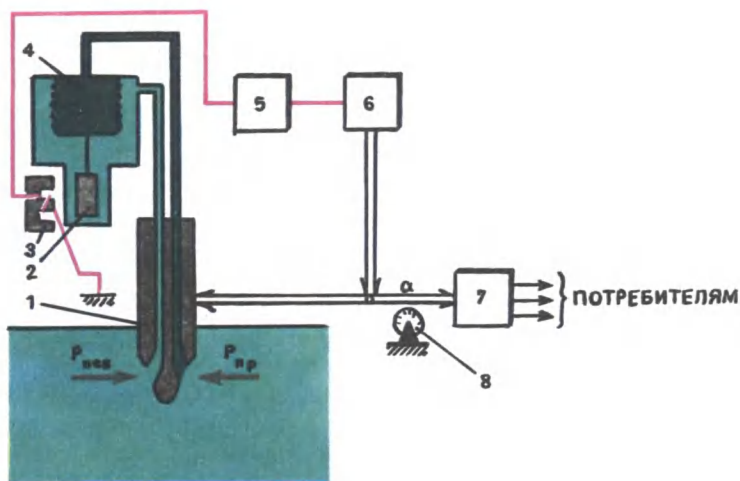


Рис. 43. Структурная схема гидродинамического дрейфомера ДГ-40

приемное отверстие будет находиться под углом к набегающему встречному потоку и принимаемое давление будет меньше гидродинамического, образуемого встречным потоком воды (рис. 42,б). И, наконец, если приемное отверстие трубки повернуть на 90° к встречному потоку, то гидродинамическое давление не будет приниматься (рис. 42,в).

Теперь представим, что судно движется с дрейфом α , т. е. его диаметральной плоскость находится под углом α к встречному потоку (см. рис. 42,б). В этом случае принимаемое трубкой лага, находящейся в диаметральной плоскости, давление будет определяться формулой $P = P_d \cos \alpha$. Если путем разворота трубки добиться, чтобы принимаемое давление равнялось давлению встречного потока, то угол разворота приемной трубки будет соответствовать углу дрейфа судна.

Структурная схема отечественного гидродинамического дрейфомера ДГ-40 показана на рис. 43. Дрейфомер работает следующим образом. Гидродинамическое давление правого $P_{пр}$ и левого $P_{лев}$ бортов, вызванное дрейфом судна, через отверстия приемной трубки 1 подается в сильфон 4. При отсутствии дрейфа судна $P_{пр} = P_{лев} = 0$. При появлении дрейфа это равенство нарушается, что приводит к деформации сильфона, которая передается якорю 2 следящего трансформатора 3. Сигнал с вы-

хода следящего трансформатора через усилитель 5 подается на обмотку исполнительного двигателя 6. В зависимости от полярности сигнала ротор электродвигателя начинает вращаться в ту или другую сторону, разворачивая приемную трубку 1 относительно диаметральной плоскости судна до тех пор, пока давления $P_{\text{пр}}$ и $P_{\text{лев}}$ не уравниваются. При этом угол разворота трубки будет равен углу дрейфа судна, который индицируется по шкале угла дрейфа 8 и передается в транслятор 7.

Гидродинамический дрейфомер ДГ-40 предназначен для измерений углов дрейфа судна относительно воды до $\pm 15^\circ$ и может устанавливаться на судах, имеющих скорость до 40 уз.

§ 8. ИЗМЕРИТЕЛИ СКОРОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО ДНА

Современные относительные лаги просты по устройству, надежны и удобны в эксплуатации. Однако использование вырабатываемой ими скорости, как было отмечено, требует учета сноса судна, вызванного перемещением водных масс. Эта задача нелегкая, поскольку океан многообразен, его воды находятся в постоянном движении под влиянием течений различной природы, учитывать которые трудно. Неизвестные морские течения всегда мешали мореплавателям, так как нередко уносили суда далеко в сторону от намеченного пути.

В течение всей истории мореплавания моряки мечтали создать лаг, определяющий абсолютную скорость, т. е. скорость относительно „суши” (берега, морского дна и т. д.). Но как „привязаться” к ней, как измерить скорость относительно дна, не имея с ним контакта? Решить эту задачу удалось лишь благодаря успешному развитию гидроакустики. Всем знакомо физическое явление — эффект Доплера, заключающееся в изменении частоты принимаемых колебаний по отношению к частоте излучения при относительном перемещении источника и приемника колебаний. Если перед судном расположить источник колебаний частотой f_0 , то оно, следуя курсом на источник, будет принимать колебания, отличающиеся от первоначальной частоты f_0 на некоторую величину Δf ,



Рис. 44. Принцип измерения скорости судна доплеровским методом

называемую *доплеровским сдвигом частоты*. При этом Δf будет тем больше, чем больше скорость судна. Если судно следует курсом строго на источник колебаний (рис. 44), то значение доплеровского сдвига частоты можно рассчитать по формуле

$$\Delta f = \frac{v}{c} f_0,$$

где v — скорость движения судна относительно источника колебаний; c — скорость распространения радиоволн; f_0 — излучаемая частота.

Казалось бы, все очень просто! Однако в реальных условиях каждый раз располагать перед судном излучатель невозможно, тем более в открытом море. Ну а если попробовать излучать сигнал в направлении дна и принимать отраженный сигнал? Ведь и в этом случае эффект Доплера должен наблюдаться. Правда, первоначальная формула (классическая) несколько изменится, поскольку излучение сигнала происходит под некоторым углом α к вектору движения судна. Кроме того, доплеровский сдвиг частоты должен удвоиться за счет переотражения сигнала (судно — дно моря — судно).

Рассмотрим принцип работы измерителя скорости судна относительно дна, построенного на использовании эффекта Доплера. Пусть на судне (рис. 45) расположены излучатель и приемник акустических колебаний. Излучатель формирует узкий луч сигнала, направленный под углом α к горизонту. При движении судна длина волны излучения, приходящая к условному приемнику — морскому дну, будет равна

$$\lambda_1 = \lambda_0 \left(1 - \frac{v}{c} \cos \alpha \right),$$

где λ_0 — длина волны исходного излучения; c — скорость

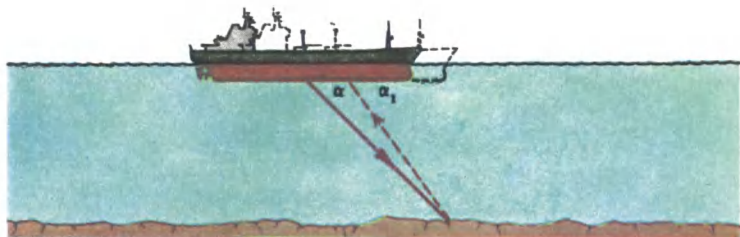


Рис. 45. Принцип действия гидроакустического доплеровского лага

звука в воде; v — скорость судна, или, поскольку $f = c/\lambda$, можно записать:

$$f_1 = \frac{c f_0}{c - v \cos \alpha}.$$

За время распространения излучения до дна и обратно судно сместится и займет новое положение, так что прием отраженного излучения будет производиться под углом α_1 . Вследствие эффекта Доплера частота принятых на борту судна колебаний $f_{\text{пр}}$ будет отличаться от частоты f_1 на величину:

$$f_{\text{пр}} = f_1 + f_1 \frac{v \cos \alpha_1}{c} = f_1 \left(1 + \frac{v \cos \alpha_1}{c} \right) = f_0 \frac{c + v \cos \alpha_1}{c - v \cos \alpha}.$$

Так как скорость судна v намного меньше скорости звука c , то $\alpha \approx \alpha_1$. Тогда, преобразуя приведенную выше формулу, получим выражение для доплеровского сдвига частоты:

$$f_d = \frac{2 v \cos \alpha}{c}$$

или

$$v = f_d \frac{c}{2 \cos \alpha}.$$

Лаг с одним излучателем, формирующим луч в направлении диаметральной плоскости судна под углом α к горизонту, позволяет измерять только продольную составляющую скорости в горизонтальной плоскости. Для измерения еще и поперечной составляющей, т. е. для определения полного вектора скорости, используются многолучевые доплеровские системы. При этом наибольшее распространение получили четырехлучевые системы

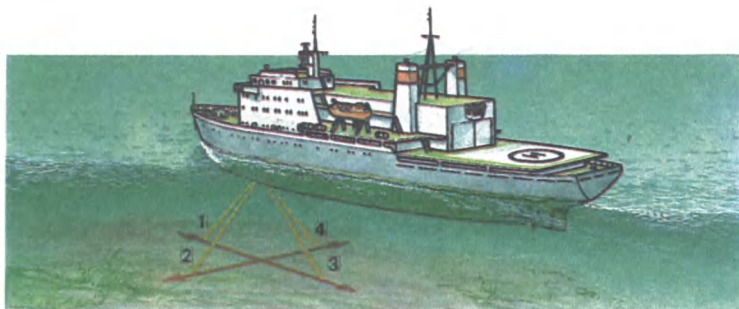


Рис. 46. Диаметально траверзное расположение лучей антенны гидроакустического доплеровского лага

с диаметально траверсным и Х-образным расположением лучей. При диаметально траверсном расположении (рис. 46) с помощью пары лучей нос — корма (1 и 3) определяется продольная составляющая скорости v_x , а с помощью лучей правый борт — левый борт (2 и 4) — поперечная составляющая v_y .

Путевую скорость и угол сноса судна можно определить из выражений:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, \beta = \arctg \frac{v_y}{v_x}.$$

Скорость, измеряемую относительно дна, в судовождении называют *абсолютной*, а сами лаги — *абсолютными*.

Структурная схема гидроакустического доплеровского лага приведена на рис. 47. Гидроакустическая антенна ГА и приемопередающее устройство ППУ обеспечивают излучение и прием отраженных от грунта акустических сигналов, распространяющихся по лучам 1—4. Отраженные от дна сигналы $f_{\text{пр1}} \dots f_{\text{пр4}}$ с выхода ППУ поступают в устройство выделения доплеровских частот УВДЧ, где определяются разности частот излучаемых и принятых колебаний по каждому лучу. В вычислительном устройстве ВУ доплеровские частоты $f_{\text{д1}} \dots f_{\text{д4}}$ преобразуются по приведенным выше математическим зависимостям в информацию о составляющих скорости v_x , v_y в судовой системе координат, которые представляются на индикаторе И. Работой лага в целом управляет синхронизатор С.

Появление на судах гидроакустических абсолютных лагов позволило существенно повысить точность судовождения и расширило возможности решения других навигационных задач. В частности, гидроакустические доплеровские лаги широко используются в качестве систем обеспечения швартовки судов. Эта задача остро встала в последние годы с появлением крупнотоннажных судов, требующих особой осторожности и точности при швартовке. Объясняется это тем, что многие причалы не рассчитаны на обслуживание судов большого водоизмещения и поэтому подвергаются разрушению, если скорость судна при касании причала на заключительном этапе швартовки превышает 3—5 м/мин. В этих условиях крайне важно знать, с какой скоростью перемещается судно, направление этого перемещения, скорость сближения с причалом и т. д. С этой целью для измерения скорости перемещения кормы влево-вправо в кормовой части судна устанавливают дополнительные гидроакустические антенны, а скорость перемещения носовой части судна измеряют посредством штатной антенны лага.

Установленный на супертанкерах типа „Крым” гидроакустический доплеровский лаг „Онега” с высокой точностью измеряет вектор скорости судна относительно дна (продольную и поперечную составляющие скорости), а дополнительная доплеровская антенна в кормовой части судна позволяет обеспечить навигационную безопасность при швартовке и при прохождении узкостей, каналов и опасных в навигационном отношении районов.

В лаге „Онега” используются четырехлучевые антенны типа „Янус” с X-образным расположением лучей в горизонтальной плоскости. Они позволяют компенсировать влияние качки на точность работы лага. Действительно, если при качке нос судна поднимается вверх, то угол α

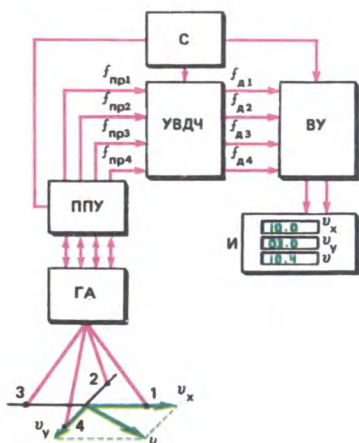


Рис. 47. Структурная схема гидроакустического доплеровского лага

носового луча антенны уменьшается на величину качки и, следовательно, значение доплеровского сдвига частоты возрастает. Это значит, что скорость судна, измеряемая носовым лучом антенны, будет завышена. Однако в этот же самый момент угол α кормового луча увеличится, уменьшится значение доплеровского сдвига частоты и, следовательно, измеряемая скорость.

Вычислительное устройство лага определяет скорость судна путем нахождения среднего значения доплеровского сдвига, т. е. увеличение Δf_d по одной паре лучей (носовых) будет автоматически компенсироваться уменьшением Δf_d по другой паре лучей (кормовых).

В лаге „Онега” используются два режима излучения: непрерывный и импульсный. Работа лага в непрерывном режиме позволяет измерять скорость судна при глубинах под килем до 10 м, обеспечивая швартовку, проход узкостей, каналов.

Однако при увеличении глубины под килем судна на непрерывное излучение оказывает влияние объемная реверберация. Природа ее такова.

Морская вода не является идеально однородной средой. Она содержит мельчайшие пузырьки воздуха, микроорганизмы, отдельные объемы с локальными изменениями температуры, солености и т. д. На этих неоднородностях происходит частичное рассеяние и отражение акустического излучения, называемое *объемной реверберацией*. В результате на приемную антенну поступают не только отраженные от грунта полезные сигналы, но и сигналы объемной реверберации от масс воды под килем судна. При увеличении глубины под килем уровень сигнала, отраженного от грунта, падает, в то время как уровень сигнала объемной реверберации остается прежним. Начиная с некоторой глубины, сигнал объемной реверберации от ближайших масс воды полностью маскирует полезный сигнал и делает невозможным измерение скорости относительно грунта. В зависимости от конкретных гидрологических условий (температуры воды, солености, насыщенности воздухом и микроорганизмами и т. д.) это явление возникает уже при глубинах под килем, составляющих несколько десятков метров. Если же повысить мощность непрерывного излучения, то это вызовет соответственно возрастание уровня объемной реверберации и рабочая глубина под килем практически не увеличится.

Этого недостатка лишен импульсный режим излучения. При правильном выборе частоты следования и длительности импульсов отраженный сигнал приходит к приемной антенне в момент времени, когда сигнал объемной реверберации практически отсутствует. Принцип регулирования длительности импульсов сводится к следующему. Весь диапазон рабочих глубин разбит на пять поддиапазонов: $H_1 = 10\text{—}30$ м, $H_2 = 20\text{—}60$ м, $H_3 = 40\text{—}120$ м, $H_4 = 80\text{—}180$ м, $H_5 = 160\text{—}180$ м. Переход с одного поддиапазона на другой может осуществляться судоводителем вручную либо автоматически по сигналам эхолота. Для последнего поддиапазона период следования импульсов $T_{\text{сл}}$ выбирается исходя из соотношения:

$$T_{\text{сл}} = 4T_p = \frac{8H_{\min}}{c \cos \vartheta},$$

где T_p — время распространения излученного сигнала до дна и обратно при минимальной для данного диапазона глубине; H_{\min} — минимальная глубина поддиапазона; c — скорость распространения звука в воде; ϑ — угол наклона луча к вертикали.

Лаг включает в себя гидроакустические антенны, счетно-решающий прибор, пульт управления и индикации. Дополнительно в состав комплекта могут входить выносные индикаторы.

Центральным прибором лага является пульт управления и индикации (рис. 48). Вся информация о скорости судна (перемещение носа, кормы, поступательное движение) отображается на табло 1, 2, 3. В данном случае информация на этих табло означает: судно движется вперед со скоростью 2 уз (табло 2) и разворачивается вправо. При этом скорость перемещения носовой части судна — 0,7 уз вправо (табло 1), а кормовой — 0,4 уз влево (табло 3). Контролируя значение скоростей, капитан задает определенный режим работы двигателей, обеспечивая безопасную швартовку судна.

В зависимости от направления этих перемещений — влево, вправо, вперед, назад — загораются соответствующие табло в виде стрелок направлений. На табло 4 индицируется пройденное судном расстояние в направлении, перпендикулярном диаметральной плоскости судна (S_y), т. е. боковое перемещение судна. Сторона перемещения

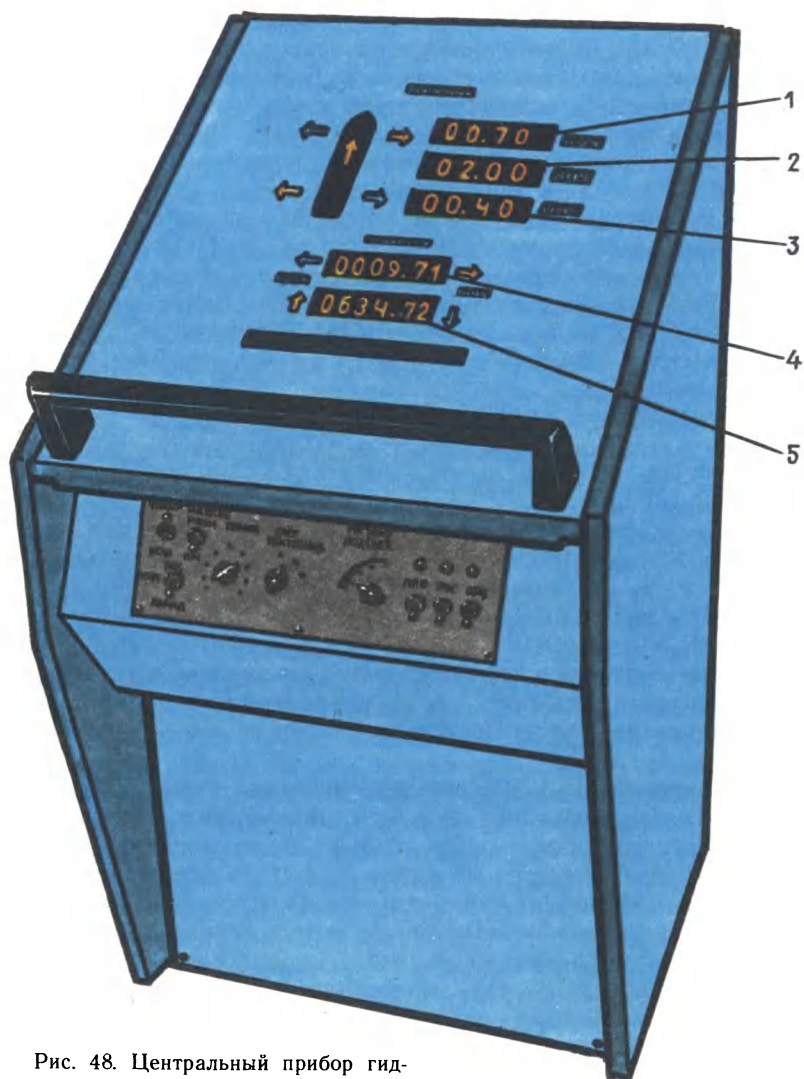


Рис. 48. Центральный прибор гидроакустического доплеровского лага „Онега”

обозначается соответствующей стрелкой, расположенной слева или справа от табло. На табло 5 индицируется пройденное расстояние в направлении диаметральной плоскости судна (S_x).

Когда судно находится в непосредственной близости к причалу и от причальной стенки его отделяют метры, то обычно капитан отдает команды по управлению судном, находясь на одном из крыльев мостика. В этих условиях оперативно пользоваться информацией с пульта управления и индикации довольно трудно. Чтобы облегчить эту задачу, на крыльях мостика устанавливают выносной индикатор скорости (рис. 49). На его передней панели представлена лишь необходимая при швартовке судна информация: скорость и направление перемещения носа и кормы (табло 1 и 3) и поступательная скорость судна вперед — назад (табло 2).

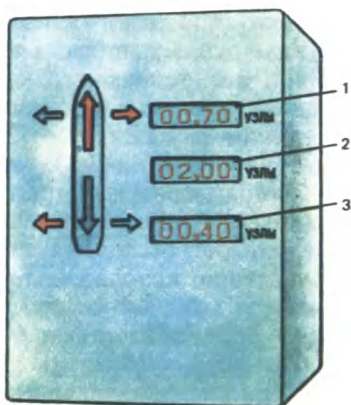


Рис. 49. Выносной индикатор для обеспечения швартовки судна

Гидроакустический лаг „Онега” надежно измеряет скорость судна относительно дна при глубинах под килем до 170—200 м в диапазоне $-10...+25$ уз. Точность определения продольной и поперечной составляющих скорости судна довольно высока — 0,05 уз.

Гидроакустические абсолютные лаги по своему устройству существенно сложнее и дороже относительных и вследствие этого устанавливаются в настоящее время главным образом на крупнотоннажных судах. На остальных судах и плавучих средствах основными измерителями скорости по-прежнему остаются относительные гидродинамические и индукционные лаги.

§ 9. ИЗМЕРИТЕЛИ ГЛУБИНЫ

С проблемой измерения глубин под килем судна человек столкнулся во время первых же плаваний. Это требовалось морякам не только для того, чтобы обезопасить судно от посадки на мель, но и для определения своего места по рельефу дна, а также для уточнения навигационных карт.

В течение многих веков эти задачи решались с помощью ручных лотов. Большие глубины измерялись лотами еще древними греками. Во II в. до н. э. грек Посейдон замерил в Средиземном море наибольшую по тем временам глубину — 1830 м. Мореплаватели той поры отмечали, что если при плавании по Средиземному морю по направлению к берегам Египта глубина под килем судна уменьшается до 100 сажень (183 м), то до Александрии остается один день пути.

Успешно использовали метод уточнения места по глубинам и русские моряки при входе в дальневосточную бухту Золотой Рог в условиях плохой видимости.

Большой вклад в создание и использование лотов для промера больших глубин внесли русские мореплаватели. С помощью лота, усовершенствованного Петром I, штурман Алексей Пушкарев в 1772—1773 гг. и горный заседатель Никита Карелин в 1798 г. вполне успешно выполнили промер оз. Байкал. При этом наибольшая зафиксированная глубина составляла 1238 м.

В 1823—1826 гг. молодой русский физик Э. Х. Ленц (1804—1865) во время кругосветного плавания на шлюпе „Предприятие” под командованием О. Е. Коцебу (1788—1846) проводил глубоководный промер и исследования посредством специальной лебедки с самодвижущимся тормозом. В 1868 г. на корвете „Львица” под командованием капитан-лейтенанта Ф. Н. Кумани проводился глубоководный промер Черного моря, во время которого был испытан электролот, разработанный воспитанником Петербургского училища правоведения Э. Х. Шнейдером. Лот опускали на изолированном медном кабеле. При ударе о дно отделяющийся груз замыкал электрическую цепь и включал звонок, что служило сигналом о достижении грузом дна. Однако печальная судьба многих дореволюционных русских изобретений и открытий постигла и эти технические решения.

В 1872 г. У. Томсон получил патент на глубоководную промерную лебедку с автоматическим тормозом (Ленца), проволочным лотлинем (Шнейдера) и лотом с самосбрасывающимся грузом (Петра I), и в 1890—1891 гг. экспедиция под руководством И. Б. Шпиндлера при промере Черного моря уже использовала эту так называемую глубомерную машину Томсона.

Попытки использовать лот для измерения и больших океанских глубин делалась еще во времена Великих гео-

графических открытий, но большей частью они заканчивались неудачно: либо лотлинь обрывался, либо он оказывался слишком коротким. Кроме того, с увеличением глубины трос становился тяжелее прикрепленного к его концу груза и поэтому трудно было определить момент касания грузом дна, а следовательно, замер глубин был неточен. Наряду с этим на измерения больших глубин затрачивалось очень много времени. Так, на измерение глубины в 3500—4000 м требовалось затратить не менее 5 ч.

Известны лоты, которые не только измеряли глубины, но и вырабатывали сигналы, предупреждающие мореплавателя об опасности. Так, в конце XIX в. на судах различных стран использовался лот-предостерегатель Джемса, получивший название „подводного часового”. Его особенность состояла в том, что на конце линия крепился не просто груз, а металлическое устройство, по конструкции напоминающее бумажного змея. Такой змей буксировался на определенной глубине. Его крепление с линем было устроено таким образом, что при касании грунта натяжение линя ослабевало и змей всплывал, что было сигналом об уменьшении глубины под килем до значений меньших, чем вытравленная длина линя. Такой лот не только предупреждал об опасности, но и помогал отыскивать нужные глубины, например для установки вех. Использовался он на глубинах до 50 м при скорости судна до 15 уз.

Нужды мореплавания и расширение исследовательских работ в морях и океанах требовали изыскания новых методов и способов, которые обеспечивали бы достаточную точность и непрерывность измерений и не имели ограничений по диапазону измеряемых глубин. На помощь ученым и инженерам пришел звук. Идея о возможности измерения расстояний по времени распространения звуковых волн высказана давно. Впервые метод эхолокации был практически подтвержден в 1804 г. академиком Я. Д. Захаровым (1756—1836). Совершая один из первых в истории исследовательский полет на воздушном шаре, он крикнул в рупор в сторону земли и, получив через 10 с эхо, определил по скорости распространения звука в воздухе, что шар находится на высоте 1700 м. Однако потребовалось более 100 лет, чтобы достичь в этом вопросе практических результатов. Только в начале XX в. с появлением простых и мощных излучателей звуковых коле-

баний и чувствительных приемников метод эхолотации в измерении глубины получил распространение.

Большое значение для создания ультразвуковых эхолотов имели исследования по направленному излучению ультразвука в воде, проведенные в 1912 г. русским инженером К. В. Шиловским. На их основе Шиловский совместно с известным французским физиком П. Ланжевром (1872—1946) получил патент „Описание аппаратов и способов их применения для подачи направленных подводных сигналов и для локации подводных препятствий”. В 1913—1920 гг. П. Ланжевен создал и испытал в проливе Ла-Манш и Средиземном море первый ультразвуковой эхолот. Конечно, он имел довольно отдаленное сходство с современными точными и надежными измерителями глубины. И это понятно. Электричество, электротехника и электроника только начинали развиваться, и нерешенных проблем было много. В то время было еще не ясно, как звуковые колебания будут распространяться в воде, какую энергию необходимо сообщить этим колебаниям, чтобы они могли достичь дна и вернуться к приемнику, хватит ли чувствительности у приемника, как точно измерить промежуток времени распространения колебаний по трассе излучатель — дно — приемник, в каком виде должна представляться судоводителю информация о глубине.

Открытие магнитострикционного эффекта позволило создать надежные излучатели акустических колебаний — вибраторы. Суть эффекта заключается в способности отдельных элементов (никеля, железа, кобальта и др.) менять свои линейные размеры при изменении окружающего их магнитного поля. Магнитострикционный эффект используется в излучающих антеннах эхолотов для преобразования колебаний магнитного поля, формируемого в схеме эхолота, в механические. Механические колебания частиц воды устремляются в сторону дна, отражаются и приходят к приемной антенне эхолота. Здесь происходит обратный магнитострикционный эффект — под действием механических колебаний стержень (например из никеля) изменяет свои размеры, что приводит к изменению напряженности магнитного поля, которое затем преобразуется в электрический сигнал. Теперь остается только замерить промежуток времени между посылкой и приходом колебаний и, зная скорость распространения звука в воде, рассчитать глубину под килем судна. Глубина,

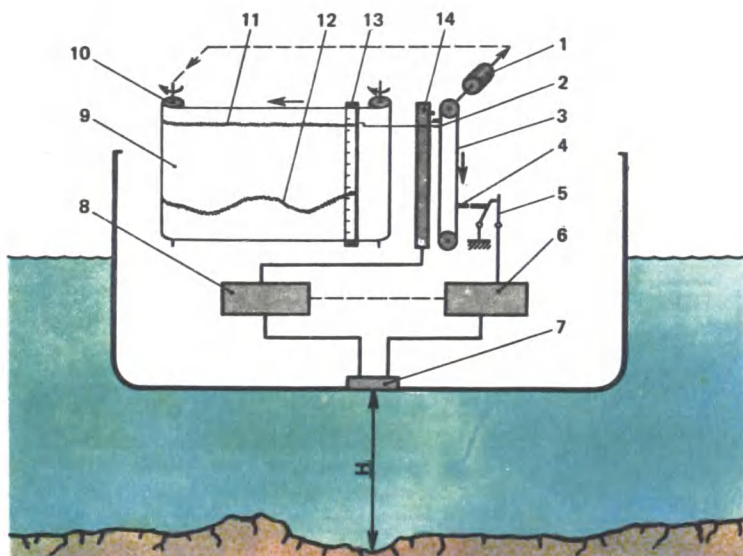


Рис. 50. Принцип работы эхолота с самописцем

измеряемая эхолотом, определяется из соотношения $H = ct/2$, где H — измеряемая глубина; c — скорость распространения звука в воде; t — время прохождения звука до дна и обратно.

Звук распространяется в воде со средней скоростью 1500 м/с. Таким образом, время прохождения сигнала до дна и обратно будет измеряться секундами для больших глубин и долями секунд для малых. Для измерения с необходимой точностью таких малых временных интервалов и преобразования их в значение глубины в состав эхолота входят специальные индикаторы — самописцы и цифровые указатели.

В самописцах производится автоматическая непрерывная регистрация измеренной глубины на специальную электротермическую бумагу. Работа самописца рассмотрена на рис. 50.

Двигатель 1 равномерно вращает барабан 10 с электротермической бумагой 9 и замкнутую бесконечную ленту 3, на которой закреплено проволочное перо 2 и кулачок 4. Перо и кулачок расположены на ленте так, что когда

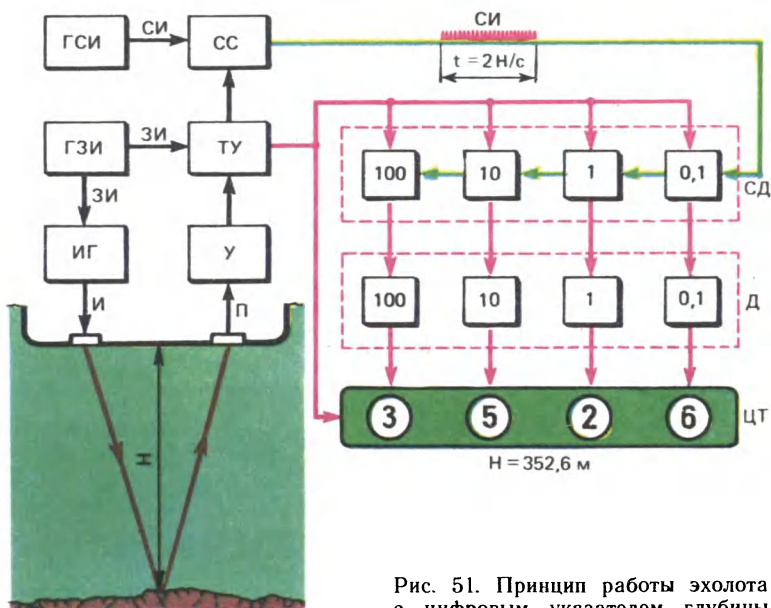


Рис. 51. Принцип работы эхолота с цифровым указателем глубины

перо проходит „нуль” на шкале 13, кулачок замыкает контакты 5, запуская импульсный генератор 6. Энергия подается на излучающую антенну 7 и токопроводящую шину 14, поступает на перо 2, и на токопроводящей бумаге прожигается отметка 11, соответствующая времени излучения. Отраженный от дна эхо-сигнал поступает на антенну 7, усилитель 8 и токопроводящую шину 14. В этот момент перо занимает промежуточное положение, и при поступлении из усилителя сигнала на бумаге прожигается вторая отметка 12, соответствующая времени прихода отраженного сигнала, т. е. глубина.

В цифровых указателях глубин используется преобразователь „время — цифра”, в котором промежуток времени между моментом посылки зондирующего импульса излучающей антенной 11 и моментом приема эхо-сигнала преобразуется в пропорциональное соответствующей глубине число счетных импульсов. Принцип работы цифрового указателя глубин заключается в следующем (рис. 51). Генератор зондирующих импульсов ГЗИ вырабатывает зондирующие импульсы ЗИ, поступающие к импульсному генератору ИГ и триггеру управления ТУ,

который выдает в схему совпадения *СС* разрешающий сигнал для поступления счетных импульсов *СИ* от генератора счетных импульсов *ГСИ* на счетную декаду *СД*. При поступлении десяти счетных импульсов на счетную декаду десятых долей вырабатывается импульс ценой 1 м, который подается на *СД* единиц и т. д.

Отраженный от дна импульс поступает на приемную антенну *П* и через усилитель *У* подается на *ТУ*. Триггер управления снимает разрешающий сигнал, и счет импульсов прекращается. Одновременно импульс *ТУ* включает цифровое табло *ЦТ* и подсчитанный счетными декадами (десятые, единицы, десятки, сотни) в двоичном коде результат преобразовывается дешифраторами *Д* в десятичный код, который подается на цифровые индикаторы.

Современные эхолоты — это сложные электронные приборы, обеспечивающие измерение глубин под днищем судна в любых районах океана.

На отечественных судах для обеспечения навигационной безопасности плавания устанавливают эхолоты унифицированного ряда НЭЛ-М, состоящего из моделей НЭЛ-М1, НЭЛ-М2, НЭЛ-М3А, НЭЛ-М3Б, НЭЛ-М4, которые обеспечивают надежное измерение глубины на судах любого водоизмещения — от катеров до супертанкеров. Эхолоты НЭЛ-М1 и НЭЛ-М2, рассчитанные на измерение больших глубин — 6000 и 3000 м соответственно, имеют две рабочие частоты излучения. При этом измерение глубины на поддиапазонах 0—100 м и 0—400 м производится высокочастотным каналом, а глубины свыше 400 м — низкочастотным. Это обусловлено тем, что высокочастотные колебания (100—200 кГц) обеспечивают измерение глубины при сильной аэрации воды, т. е. когда вода насыщена пузырьками воздуха, что особенно характерно для мелководных районов, а низкочастотные колебания (10—30 кГц), имеющие меньший коэффициент затухания, обеспечивают надежное измерение больших глубин. Кроме того, для обеспечения работы низкочастотного канала требуются генераторы большой мощности и антенны, имеющие значительные размеры. Использовать их на малотоннажных судах и судах прибрежного плавания нецелесообразно.

В табл. 2 даны рекомендации по установке эхолотов различных моделей на судах.

Эхолоты выполнены в виде отдельных приборов. Их наименования, шифры и число в различных моделях ука-

Таблица 2 Оснащение судов эхолотами НЭЛ-М

Суда	Модели				
	М1	М2	М3А	М3Б /	М4
Научно-исследовательские	+	+	—	+	—
Крупнотоннажные	+	+	—	+	—
Транспортные и пассажирские среднего водоизмещения	—	—	—	+	—
Класса-река — море	—	—	+	—	—
Речные	—	—	—	—	+
Примечание Знак + означает целесообразность установки					

заны в табл. 3. Состав, соединение и внешний вид приборов эхолота НЭЛ-М3А показаны на рис. 52.

Эхолоты унифицированного ряда построены по одно-вibratorной схеме, т. е. одна антенна 15 используется как излучатель и как приемник. Отраженный эхо-сигнал поступает на антенну 15 и через соединительную коробку 14 в приемопередающее устройство 13. Такой режим работы обеспечивает специальное коммутирующее устройство. Регистрация и индикация измеренных глубин в эхолотах НЭЛ-М производится как на ленте самописца 1, так и через стойку с электронными блоками 11 на цифро-

Таблица 3. Состав эхолотов НЭЛ-М1...НЭЛ-М4

Прибор	Число приборов в моделях			
	Шифр	НЭЛ-М1	НЭЛ-М2	НЭЛ-М3А, НЭЛ-М3Б, НЭЛ-М4
Антенна ВЧ-канала	1	1—4	1—4	1
Антенна НЧ-канала	1А	1	1	—
Самописец	4	1	1	1
Пульт управления цифровым указателем глубин (ЦУГ)	45	1	1	1
Прибор сигнализации глубины (ПСГ)	4Г	1	1	1
Цифровое табло	11	1—3	1—3	1—3
Стойка с электронными блоками	16	1	—	—
Приемопередающее устройство	16	—	1	1
Электронная часть ЦУГ	16А	—	1	1
Прибор с источниками питания	16Б	—	1	—
Кабельная коробка	—	2—5	2—5	1

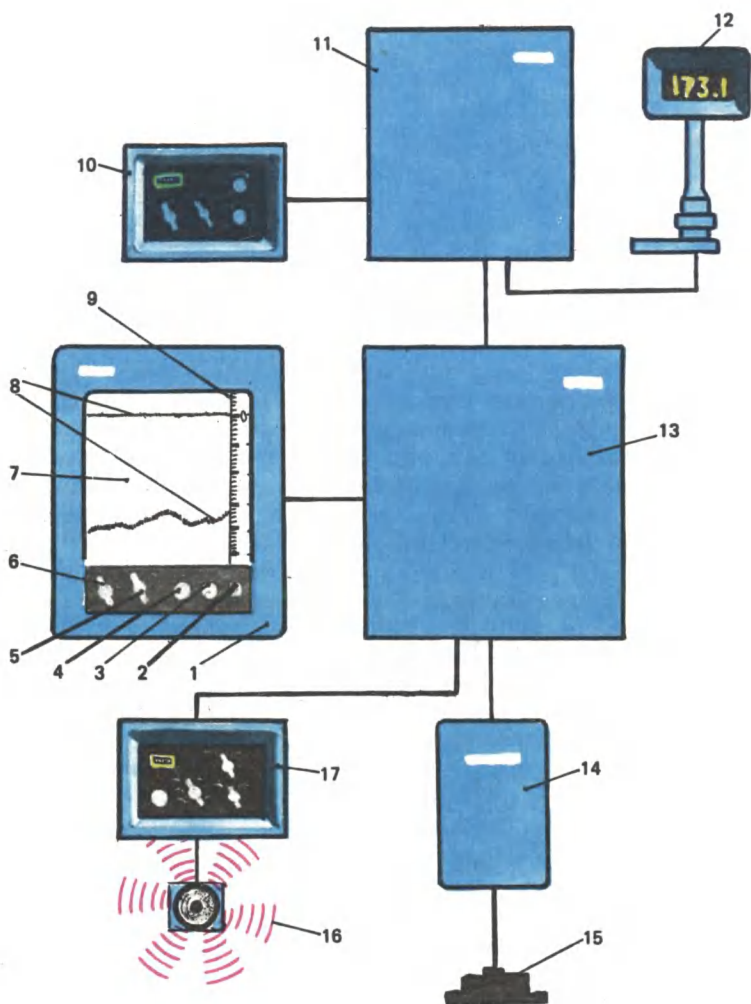


Рис. 52. Навигационный эхолот НЭЛ-МЗА

вых указателях глубины 12. Управление работой эхолота может осуществляться либо с самописца (при записи глубины на ленту), либо с пульта управления цифровыми указателями глубин 10.

На крышке самописца расположено окно 7, обеспечивающее наблюдение за записью глубин на электротермической бумаге. В правой части окна расположена масштабная линейка. Отсчет снимается по шкале 9, соответствующей установленному переключателем „Диапазон” 6 диапазону измеряемых глубин. Далее располагается выключатель „Сеть” 5. За ним следует ручка 4, обеспечивающая плавную регулировку освещения окна самописца. Регулятором „Усиление” 3 судоводитель добивается четкой линии на бумаге. И, наконец, последняя кнопка „Оперативная отметка” 2 используется в том случае, когда необходимо на бумаге отметить измеренную глубину. При нажатии кнопки через все поле бумаги прожигается вертикальная прямая линия. При длительной непрерывной работе самописца на бумаге записывается профиль морского дна под килем судна 8. В эхолоте НЭЛ-М предусмотрена автоматическая подача звукового сигнала о том, что судно вышло на заданную глубину. Эта задача решается с помощью прибора сигнализации глубины (ПСГ) 17 и ревуна 16. Соответствующим переключателем судоводитель устанавливает нужное ему значение, например „5”. Как только глубина под килем достигает 5 м, раздается сигнал ревуна. Если судно идет с большей глубины на меньшую, то переключатель устанавливается в положение „Мельче”, а если с меньшей на большую (например, при выходе из порта, гавани), то в положение „Глубже”.

Особенностью моделей НЭЛ-М1 и НЭЛ-М2 является возможность подключения к ним до четырех антенн. Дополнительные антенны подключают, как правило, на крупногабаритных судах, на которых при следовании узкостями, каналами и фарватерами необходимо знать глубину не в одной точке под днищем, а в разных.

На пульте управления (рис. 53), входящего в комплектацию НЭЛ-М1, НЭЛ-М2, есть дополнительный переключатель на четыре положения: *НОС*, *ЛБ* (левый борт), *ПБ* (правый борт), *КОРМА*. Судоводитель, устанавливая переключатель на панели пульта в одно из положений, может по цифровому указателю наблюдать значения глубины под судном в соответствующем месте.

При формировании необходимой комплектации для маломерных судов (катеров, яхт, буксиров и т. п.) состав каждой модели эхолотов ряда НЭЛ-М может быть изменен. Например, эхолот НЭЛ-М3А (см. рис. 52) может

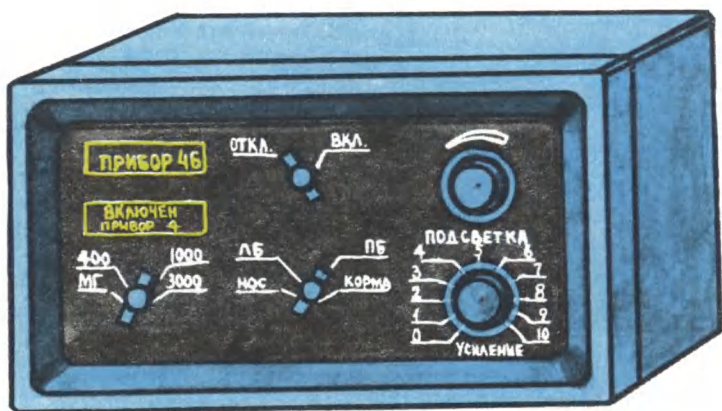


Рис. 53. Пульт управления эхолотом НЭЛ-М2

быть представлен следующими комплектами: с одним самописцем (антенна, приемопередающее устройство и самописец); с одним указателем (антенна, приемопередающее устройство, электронная часть ЦУГ, пульт управления ЦУГ, цифровой индикатор); специальный сигнализатор глубины (антенна, приемопередающее устройство, прибор сигнализации глубины, ревун).

Эхолоты НЭЛ-М различных моделей измеряют глубину под килем в следующих диапазонах: НЭЛ-М1 — 1—6000 м; НЭЛ-М2 — 1—3000 м. НЭЛ-МЗБ — 0,5—500 м; НЭЛ-МЗА — 0,2—200 м; НЭЛ-М4 — 0,2—36 м.

Погрешность измерения составляет $\pm 0,2$ м при глубинах до 20 м и 1% при глубинах свыше 20 м.

Наряду со своим основным назначением — измерять глубину и предупреждать об опасности — эхолот в ряде случаев, например в местах с характерными глубинами и в районах с большими их перепадами, помогает судоводителю уточнять координаты места.

Эхолоты позволили не только повысить безопасность плавания, но и помогли составить точные карты рельефа морского дна, необходимые как для мореплавания, так и для решения других задач, связанных с изучением морей, океанов и использованием их богатств.



4

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕ- ДЕЛЕНИЯ МЕСТОПО- ЛОЖЕНИЯ СУДНА

§ 10. ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕ- ДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕ- НИЯ ПО РАДИОМАЯКАМ

Для уточнения своего места в море моряки с древних времен старались использовать все возможные средства и способы. Особенно трудно было при подходе к берегу ночью и в туман, ведь при малейшей ошибке судно могло оказаться выброшенным на скалы. Моряки внимательно вслушивались в окружающие их звуки, стремясь уловить шум прибоя и по нему уточнить направление. Позже на маяках стали устанавливать колокола и специальные сирены, которые в тумане периодически подавали звуковые сигналы, помогающие морякам ориентироваться.

Такие сигналы подавались еще с самого древнего из известных нам маяков — Александрийского, построенного на о. Фарос у входа в египетский порт Александрию.

В 1880 г. было запатентовано простейшее устройство (рис. 54), которое использовалось капитанами судов для определения направления на звуковые сигналы, подаваемые в тумане. Это был звуковой пеленгатор с использованием топофонов. Направление на источник звука определялось по сравнению мощностей сигналов, поступающих на оба уха от разнесенных рупоров. Такой звуковой пеленгатор можно считать прообразом современных радиопеленгаторов, использующих вместо звуковых радиосигналы.

Радиосигналы обладают двумя свойствами, которые легли в основу создания радиотехнических средств навигации: они распространяются в свободном пространстве почти по прямолинейным траекториям и скорости их распространения в свободном пространстве строго постоянны. Поскольку направление распространения радио-

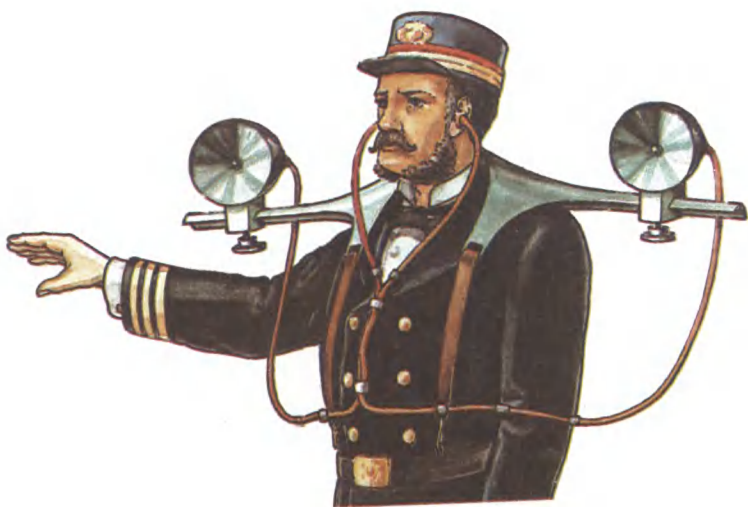


Рис. 54. Звуковой пеленгатор

волн сохраняется неизменным, можно определить направление на источник их излучения. Впервые опыты по радиопеленгованию были проведены во время русско-японской войны. Адмирал С. О. Макаров, заинтересовавшись идеей А. С. Попова о расширении возможностей радио, издал приказ, рекомендовавший определять направление на неприятельские корабли, используя их радиопередачи. Для этого надо было маневрировать курсом своего корабля до тех пор, пока радиосигналы неприятельского корабля не пропадали, а это происходило в тот момент, когда рангоут своего корабля попадал в створ между приемной антенной и передатчиком противника. Значит, корабль противника находился на продолжении линии антенна приемника — рангоут.

В 1912 г. А. И. Рейнгартеном были созданы первые радиопеленгаторы.

Радиопеленгатор представляет собой радиоприемник с ограниченной частотой пропускания и рамочной антенной. ЭДС на выходе такой антенны зависит от ее положения относительно источника радиоизлучения и достигает максимума при совпадении плоскости рамки с направлением на источник, т. е. с направлением распространения радиоволн. С помощью радиопеленгатора, уста-

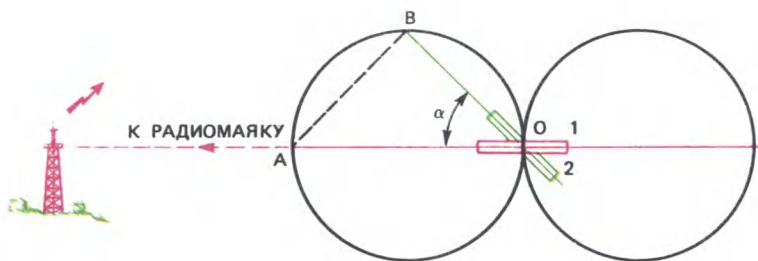


Рис. 55. Диаграмма направленности рамки

новленного на судне, можно измерить направления на радиомаяки-радиопередатчики, работающие в специально отведенном для них диапазоне частот 285—315 кГц. Измеренные направления — линии положения на два или три радиомаяка прокладываются на морской навигационной карте, и в точке их пересечения находится место судна.

Для приема радиоволн служит рамочная антенна, которая может вращаться вокруг вертикальной оси. Внутри рамки имеется большое количество витков провода, и она может рассматриваться как катушка индуктивности. Когда рамочная антенна находится в поле излучения радиопередатчика, магнитные силовые линии проходят через ее витки и в катушке возбуждается переменная ЭДС индукции. Когда плоскость рамки направлена в сторону передатчика, ее пересекает наибольшее число силовых линий электромагнитного поля и возбуждаемая ЭДС имеет максимальное значение. Если рамку соединить с приемником, то сигнал на выходе приемника от передающей станции будет наибольшим.

На рис. 55 показана полярная диаграмма направленности рамки, имеющая форму восьмерки, в зависимости от угла поворота рамки. Когда рамка находится в положении 1, наводимая в ней ЭДС (АО) имеет максимальное значение, и в положении 2 ЭДС уменьшается. Вращением рамки можно достигнуть полного пропадания сигнала передатчика. Это происходит, когда передатчик находится под прямым углом к плоскости рамки. На практике направление на радиомаяк всегда определяют по минимальному сигналу. В этом случае сигнал изменяется при малейшем повороте рамки, поэтому точность определе-

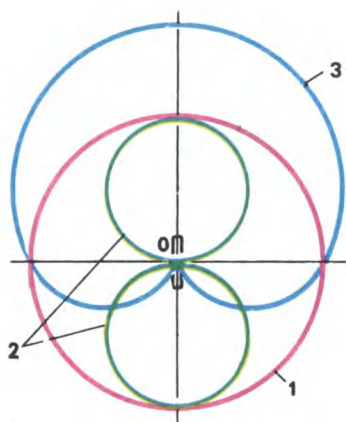


Рис. 56. Кардиоиды

следующим образом (рис. 56).

Известно, что антенна в виде вертикального провода (вертикальная, или ненаправленная антенна) принимает излучение со всех направлений и ее полярная диаграмма имеет форму круга 1. Для исключения неоднозначности приема такая ненаправленная антенна добавляется к рамочной с диаграммой в форме восьмерки 2. При одновременном приеме на обе антенны образуется сложная диаграмма направленности, равная сумме диаграмм ненаправленной антенны и рамки. Эта диаграмма напоминает по форме контур сердца 3 и называется *кардиоидой*.

Кардиоиды имеет только одно минимальное значение и один максимум. По этой причине она обеспечивает однозначность (по минимальному сигналу) определения направления на радиопередатчик.

Принцип измерения направления можно пояснить на следующем примере (рис. 57). На судне в точке O устанавливается рамочная антенна. На оси рамки перпендикулярно ее плоскости укрепляется стрелка. Поворот рамки вокруг оси O вызывает изменение силы звука в телефонах. В момент полного пропадания звука плоскость рамки будет перпендикулярна направлению на радиомаяк, а стрелка укажет курсовой угол на него, который называется *радиокурсовым углом РКУ*. Истинный радиопеленг *ИРП* на маяк определяется формулой $\text{ИРП} = \text{ИК} \pm \text{РКУ}$.

ния направления на радиопередатчик выше, чем точность измерения по максимуму сигнала, так как небольшое изменение угла поворота рамки α оказывает влияние на величину принимаемого сигнала. Когда рамка установлена по отношению к передатчику так, что принимаемый сигнал минимален, передатчик по отношению к плоскости рамки может находиться на одном из двух направлений, отличающихся на 180° . Для исключения неоднозначности направления поступают

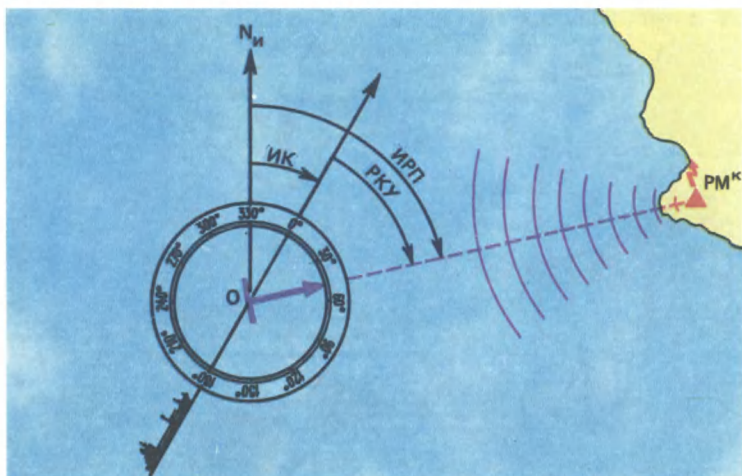


Рис. 57. Принцип измерения радиопеленга в слуховом радиопеленгаторе

Принцип устройства всех радиопеленгаторов одинаков, однако методы индикации измеряемого направления могут быть различны. В настоящее время на судах морского флота широко применяют: *слуховые* радиопеленгаторы типа „Рыбка”, в которых направление на радиомаяк определяется с помощью рамочных антенн по минимуму слышимости сигнала; *визуальные* радиопеленгаторы типа „Румб” с использованием зрительного метода индикации направления.

Рассмотрим более подробно состав, функциональную схему и принцип действия визуального радиопеленгатора „Румб”. Он предназначен для обнаружения места судна по навигационным радиомаякам всех типов и определения направлений на береговые радиостанции ненаправленного излучения, морские радиобуи и суда, ведущие радиопередачи.

В комплект радиопеленгатора входят вспомогательная и рамочная антенны, антенная колонка с усилителем и приемоиндикаторный блок.

Вспомогательная (ненаправленная) или *вертикальная* антенна предназначена для обеспечения дежурного или ненаправленного приема и определения однозначности направления — „стороны” совместно с рамочной

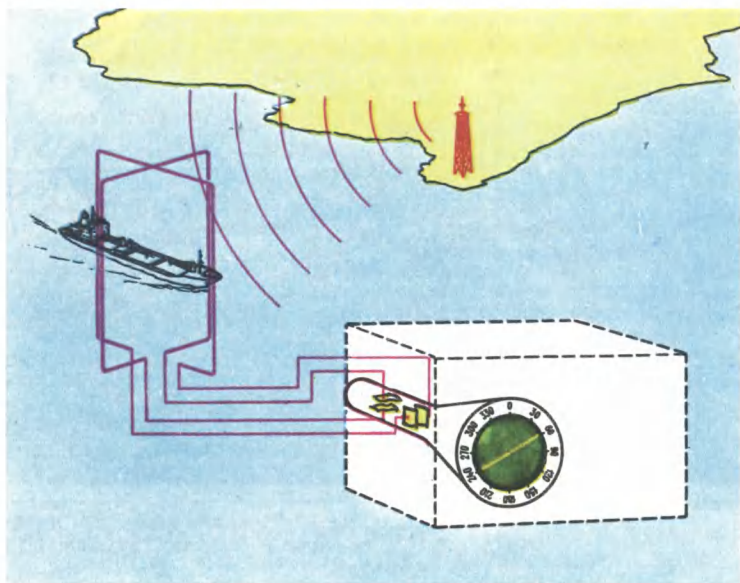


Рис. 58. Принцип измерения радиопеленга в визуальном радиопеленгаторе

антенной. *Рамочная* антенна предназначена для определения направления на передающую радиостанцию. Она состоит из двух взаимно перпендикулярных дюралюминиевых труб, внутри которых уложены витки рамки. Рамка с надписью „Нос” устанавливается параллельно диаметральной плоскости судна.

Антенная колонка служит для установки рамочной антенны, *антенный усилитель* — для усиления сигнала вспомогательной антенны.

Приемоиндикаторный блок предназначен для усиления и преобразования принятого сигнала, определения радиопеленга или РКУ на радиомаяк.

Принцип измерения пеленгов в визуальном радиопеленгаторе с электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ) заключается в следующем (рис. 58). К выходам двух взаимно перпендикулярных рамок, установленных вдоль продольной и поперечной осей судна, подключаются два одинаковых усилительных канала. Наводимые в поперечной

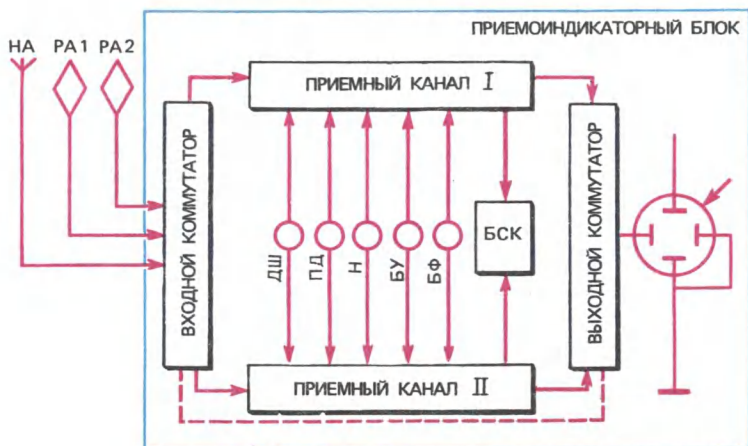


Рис. 59. Упрощенная функциональная схема радиопеленгатора „Румб”

и продольной рамках сигналом радиомаяка ЭДС зависят от угла прихода радиоволн. Поступающие на вход приемника напряжения усиливаются и подводятся на отклоняющие пластины ЭЛТ. Переменное напряжение рамки, ориентированной вдоль оси судна, вызывает смещение светового пятна в вертикальном направлении, а напряжение рамки, ориентированной поперек диаметральной плоскости,— смещение светового пятна в горизонтальном направлении. При этом световое пятно будет прочерчивать на экране электронно-лучевой трубки прямую линию, соответствующую направлению на радиомаяк. Принцип работы радиопеленгатора поясняет рис. 59.

Радиопеленгатор имеет три режима работы. Дежурный прием предназначен для предварительной настройки на пеленгуемую радиостанцию регулятором *Н*. Прием ведется на ненаправленную антенну *НА* с выходом на громкоговоритель *БСК*. В режиме пеленгования производится балансировка приемных каналов, определение направления на пеленгуемую радиостанцию и разрешение двузначности радиопеленгования. В режиме „Контроль” выполняется проверка работоспособности радиопеленгатора и обнаружение неисправностей.

Приемоиндикаторный блок состоит из двух одинаковых приемоусилительных каналов *I* и *II*, обеспечивающих

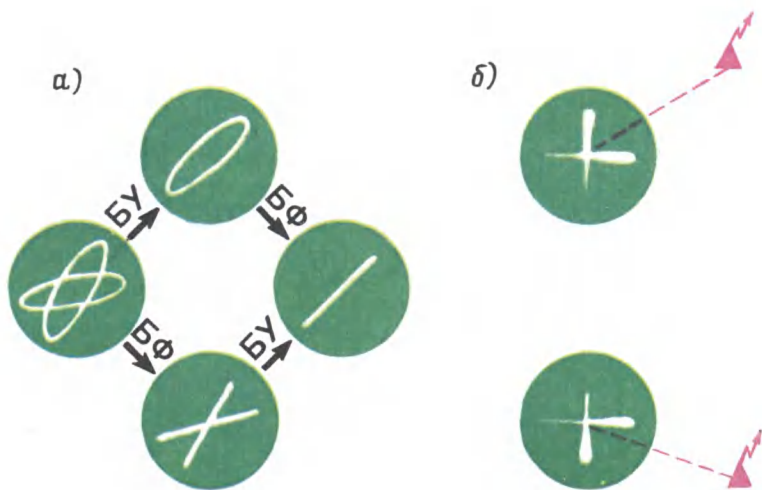


Рис. 60. Изображение на экране радиопеленгатора: *а* — при регулировании каналов; *б* — при определении „стороны” пеленгуемой радиостанции

усиление с двойным преобразованием частот. Общее усиление приемоусилительных каналов регулируется ручкой „Длина штриха” *ДШ*. Выбор диапазонов частот производится переключателем диапазонов *ПД*. Балансная регулировка усиления в каналах *I* и *II* осуществляется регулятором баланса усиления *БУ*, а регулировка баланса фаз осуществляется регулятором *БФ*.

При пеленговании сигналы от рамочных антенн *РА1* и *РА2* поступают на коммутаторы, подключающие в первый такт работы продольную рамку к каналу *I*, а поперечную — к каналу *II*. Во второй такт работы подключение меняется.

При коммутации с частотой 15—30 раз в секунду на экране ЭЛТ наблюдаются два эллипса, большие оси которых пересекаются под некоторым углом, характеризующим различные усиления в приемных каналах. Размеры малых осей эллипсов пропорциональны разности фазовых сдвигов в приемных каналах. Регулировка (балансировка) приемных каналов производится регуляторами усиления *БУ* и фаз *БФ* в любой последовательности (рис. 60, *а*) до тех пор, пока на экране ЭЛТ не будет на-

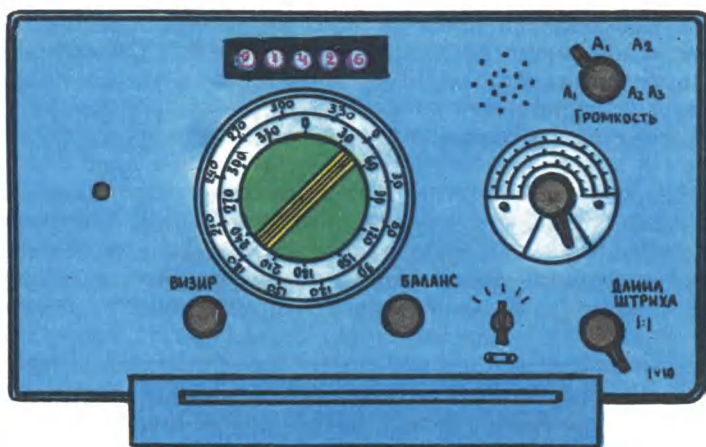


Рис. 61. Передняя панель радиопеленгатора „Румб”

блюдаться прямая линия — линия электронного пеленга, соответствующая направлению на радиомаяк.

Для определения стороны расположения пеленгуемого радиомаяка нажимается кнопка „Сторона”, и вход одного из приемоусилительных каналов подключается к *НА*, а его выход — к ЭЛТ.

Через другой приемоусилительный канал, входной и выходной коммутаторы, усиленные сигналы от *РА1* и *РА2* поочередно поступают на вертикально или горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ. На экране ЭЛТ наблюдается крестовидная фигура (рис. 60,б, штрихами показана четверть, в которой расположена пеленгуемая радиостанция).

На рис. 61 изображена передняя панель радиопеленгатора „Румб”, на которую выведены следующие органы управления:

ручка „Визир”, используемая для вращения визира при определении радиопеленга (РП) или РКУ по шкалам ЭЛТ;

регуляторы „Баланс” (верхний — для усиления сигналов в каналах, нижний — для фазовых сдвигов в каналах);

регулятор „Громкость” с переключением режимов работы;

переключатель „Род работы” на четыре фиксированных положения: „Вкл”, „Деж”, „Пеленг”, „Контроль”. В положении „Контроль” производится проверка напряжения и исправность отдельных узлов;

регулятор „Длина штриха” — для регулировки длины штриха электронного радиопеленга.

На передней панели также имеются переключатель диапазонов работ с ручкой грубой и точной настройки частоты по шкалам и цифровым индикаторам на пеленгуемый радиомаяк. Визуальный индикатор имеет неподвижную шкалу (визуальный круг) и подвижную — репитер гирокомпаса.

Для включения радиопеленгатора и настройки приемника достаточно установить переключатель „Род работы” в положение „Деж”, когда обеспечивается прием на ненаправленную антенну, согласовать курсовую шкалу-репитер с показаниями гирокомпаса, переключателем диапазонов установить требуемый диапазон частот, ручкой грубой настройки на шкале установить приближенное значение частоты для выбранного радиомаяка, ручкой точной настройки по цифровому табло уточнить настройку на частоту радиомаяка. Для прослушивания позывных радиомаяков включается громкоговоритель. После настройки приемника на пеленгуемую станцию и прослушивания ее позывных переключатель „Род работы” устанавливается в положение „Пеленг” и ручкой „Длина штриха” изображение на ЭЛТ регулируется так (см. рис. 60,а), чтобы линия электронного пеленга была прямой, затем производится измерение радиопеленга. Определив сторону пеленга и нажав кнопку „Сторона”, со шкал индикатора с помощью механического визира снимают отсчет радиопеленга или РКУ.

Радиопеленгатор „Румб” имеет следующие технические характеристики: диапазон частот первый — 250—545 кГц, второй — 1600—2850 кГц; средняя квадратическая погрешность пеленгования в первом диапазоне $\pm 1^\circ$, во втором — $\pm 3^\circ$.

Радиопеленгатор „Румб” выпускают в различных комплектациях в зависимости от рода судовой электросети, типа рамочных антенн, типа гирокомпаса.

В комплект радиопеленгатора входят следующие основные устройства: приемоиндикаторный блок, блок рамочных антенн, ненаправленная антенна, блок питания, антенный усилитель или антенная коробка. Рамочные

антенны устанавливают на отдельной колонке на верхнем мостике судна либо с помощью кронштейна на мачте в диаметральной плоскости судна. Соединяют антенны с приемоиндикаторным блоком радиопеленгатора специальными радиочастотными кабелями. Приемоиндикаторный блок размещают в штурманской рубке.

Готовясь к определению места судна по радиопеленгаторам, штурман по названиям радиомаяков находит их основные характеристики. Каждый радиомаяк работает по определенной программе, которая характеризуется временем его работы, длиной волны или частотой, позывными сигналами, состоящими из точек и тире по азбуке Морзе, длинного тире, служащего для пеленгования. Чтобы определить место судна, необходимо иметь не менее двух радиопеленгов, поэтому радиомаяки объединяют в группы. Как правило, их от 2 до 6, работающих на одной частоте. Но радиомаяки одной группы излучают сигналы не одновременно, а поочередно в определенном порядке. Все сведения о радиомаяках, о программах их работы, дальности действия, географических координатах их расположения приводятся в навигационном пособии „Радиотехнические средства навигационного оборудования”. Дальность действия круговых радиомаяков может достигать 300 миль. Чтобы число переключений радиопеленгатора с одной частоты на другую и время между измерениями радиопеленгов были бы минимальными, намечается последовательность пеленгования радиомаяков. Наиболее точно радиопеленгование осуществляется в дневное время, поскольку исключается влияние ночного эффекта, когда распространение радиоволн искажается. Ночной эффект проявляется за час до восхода и спустя час после заката солнца.

Измерив радиопеленгатором радиопеленги на радиомаяки, их исправляют необходимыми поправками. Место судна по измеренным с него радиопеленгам на радиомаяки определяют графически на морской навигационной карте. На малых расстояниях прокладка линий радиопеленгов производится так же, как и визуальных. В точке пересечения радиопеленгов получают место судна.

В том случае, когда промежутки времени между измерениями радиопеленгов велики, при большой скорости судна интервалы времени могут составлять 2—10 мин, поэтому для получения обсервации пеленги необходимо приводить к одному моменту. Обычно первые радиопе-

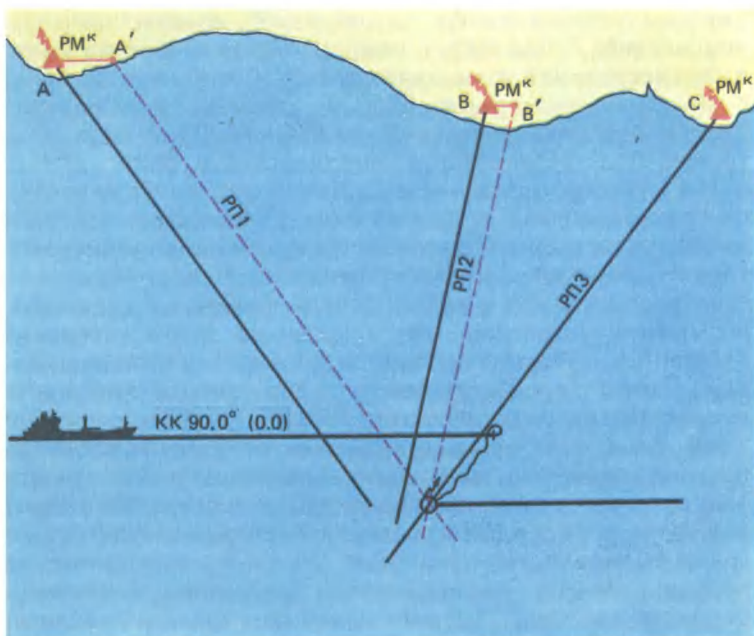


Рис. 62. Приведение радиопеленгов к одному моменту

ленги приводятся к моменту измерения последнего. Приведение радиопеленгов к одному моменту может быть осуществлено на путевой морской навигационной карте путем прокладки их от смещенных мест радиомаяков. Для этого при определении места судна, например по трем радиомаякам, рассчитывают смещения первых двух радиопеленгов по формулам: $S_1 = v (T_3 - T_1)$, $S_2 = v (T_3 - T_2)$, где $T_1, 2, 3$ — моменты измерения 1-го, 2-го и 3-го радиопеленгов, и вдоль линии курса судна откладывают от мест размещения радиомаяков (рис. 62). Из полученных точек A' и B' прокладывают линии $РП1$ и $РП2$, а третий измеренный радиопеленг проводится из фактического места радиомаяка. Полученное obserвованное место (обсервация) будет соответствовать времени третьего измерения.

Точность определения места судна зависит от многих факторов: времени суток, условий распространения ра-

диоволн и др. Поэтому штурман должен всегда анализировать и оценивать обсервованное место судна. Специалисты считают, что радиопеленгаторы на судах морского флота будут использоваться и в ближайшем будущем, так как по сравнению с другими радионавигационными системами, позволяющими определять место судна, они имеют наиболее простое устройство.

§ 11. ПРИБОРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПО БЕРЕГОВЫМ РАДИОНАВИГАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ

Взяв за основу свойства радиоволн распространяться с конечной скоростью и по кратчайшему расстоянию, известные советские ученые Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси разработали в 1930 г. метод измерения расстояний с использованием зависимости между фазой радиосигнала и навигационным параметром. Они показали, что измеряя разности фаз двух электромагнитных колебаний, т. е. двух радиоволн, можно определить разность пройденных ими путей.

Позднее на основе этих разработок были созданы фазовые гиперболические радионавигационные системы для определения географических координат судна путем измерения разности фаз сигналов передающих береговых станций.

Принцип работы фазовой радионавигационной системы (РНС) поясняется на рис. 63. Наземные радиостанции *А* и *Б* излучают согласованные по фазе радиосигналы на одной частоте, которые принимает судно. Учитывая различные пути прохождения радиосигналов от станций *А* и *Б*, сигналы будут приняты судном в различных фазах, т. е. $\Delta\varphi = \varphi_B - \varphi_A$, где $\Delta\varphi$ — разность фаз; φ_B , φ_A — фазы радиосигналов, принятых на судне с соответствующих станций. Фаза колебаний радиосигнала выражается формулой $\varphi = \omega t$, где ω — круговая частота излучения; t — время распространения радиосигнала от наземной станции до судна.

После небольших преобразований разность фаз радиосигналов, принятых на судне, можно представить в виде:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (D_B - D_A) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta D,$$

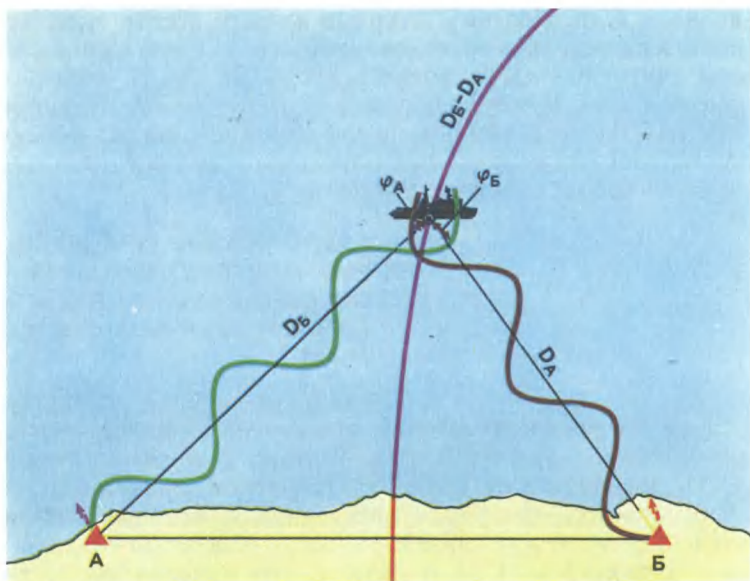


Рис. 63. Принцип действия фазовой ФНС

где λ — длина радиоволны; D_A , D_B — расстояния от станций A и B до судна.

Таким образом, очевидно, что разность фаз пропорциональна разности расстояний до наземных станций. Из математики известно, что постоянному значению разности расстояний соответствует гипербола, а это означает, что $\Delta\phi$ будет соответствовать определенной навигационной изолинии — гиперболе (обозначена на рисунке красной линией). Изменение разности фаз от 0 до 2π (или от 0 до 360°) называется *фазовым циклом*, а полоса на местности, ограниченная двумя гиперболами, в пределах которой разность фаз меняется на один фазовый цикл, называется *фазовой дорожкой*.

Радионавигационные системы, у которых навигационным параметром является разность расстояний (разность фаз или промежутков времени), называются *гиперболическими* или *разностно-дальномерными*. Для определения места судна в море необходимо иметь как минимум две линии положения. Это обеспечивается работой

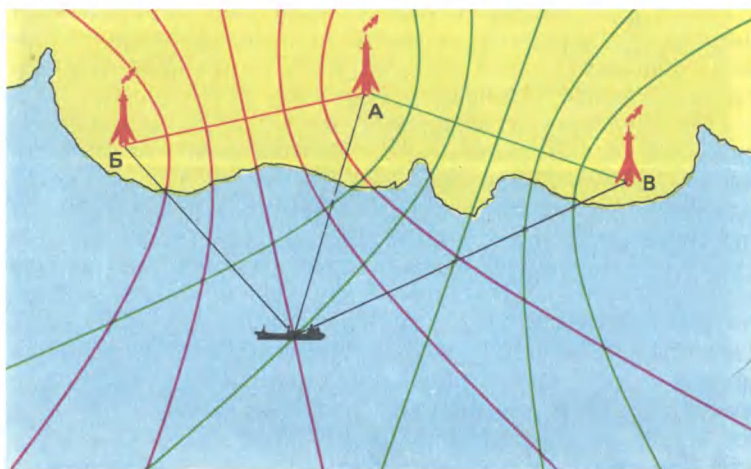


Рис. 64. Расположение береговых станций гиперболической РНС

трех наземных станций *A*, *B* и *В*, обозначенных на рис. 64. Станция *A* называется *ведущей*, станции *B* и *В* — *ведомыми*, расстояния *AB* и *AB* — *базой*. Излучаемые станцией *A* радиоволны принимаются антенными устройствами станций *B* и *В*. В момент приема сигнала от станции *A* антенны станций *B* и *В* начинают излучать в эфир свои радиоволны. Сигналы станций *A*, *B* и *В* принимаются на судне как две разности фаз между сигналами станций *A—B* и *A—В*. Каждой разности фаз соответствует определенная изолиния на земной поверхности — гипербола. Точка пересечения двух гипербол будет соответствовать координатам места судна.

Наиболее распространенной фазовой радионавигационной системой является система „Декка”. Она состоит из ряда автономно действующих цепочек. В каждую цепочку входят 3—4 береговые передающие станции. Ведущая и ведомая станции образуют пару, т. е. в каждую цепочку входит 2—3 пары станций. Каждой паре присвоен условный цвет: красный, зеленый или фиолетовый. Этим же цветом обозначены гиперболы на специальных картах. Они строятся относительно каждой пары станций. Расстояния между станциями разбиты на зоны, которые обозначают латинскими буквами *A*, *B*, *C*, *D*, *E*,

F, G, H, I, J — всего 10 зон. Каждая зона, ограниченная линиями-гиперболами, содержит определенное число точных дорожек. В одной зоне точных дорожек красного цвета 24, зеленого 18 и фиолетового 30.

Определение разности фаз каждой пары входящих сигналов осуществляется по фазометрам приемоиндикатора. Таких фазометров три. На отечественных судах для определения места по РНС „Декка” устанавливают приемоиндикаторы „Пирс-1М”. В состав комплекта судовой аппаратуры кроме приемоиндикатора входят антенна, противолокационный фильтр, приемник и блок питания. Антенна предназначена для приема радиоволн. Противолокационный фильтр служит для устранения помех от работающих радиолокационных станций. Приемник используют для приема колебаний высокой частоты, их усиления, преобразования и подачи в блок индикаторов.

Все узлы приемника помещены в корпусе прибора на специальных съемных платах. Приемник включает в себя усилители высокой частоты, кварцевые генераторы, смесители и усилители промежуточных частот. Преобразованная информация поступает на приемоиндикатор.

Приемоиндикатор представляет собой центральный прибор, с которым работает судоводитель при определении места судна. Внешний вид приемоиндикатора „Пирс-1М” показан на рис. 65.

На передней панели размещены три точных индикатора (красный, зеленый, фиолетовый) и один индикатор грубого отсчета. Точные индикаторы имеют две шкалы: наружную, разбитую на 100 делений, по которым определяют сотые и десятые доли точной дорожки, и внутреннюю, разбитую на 24 деления для красного, 18 делений для зеленого и 30 делений для фиолетового индикаторов. Каждое деление внутренней шкалы точных индикаторов определяет номер точной дорожки. Оцифровка делений внутренней шкалы красного индикатора сделана от 0 до 23 (24 точные дорожки). Зеленого индикатора от 30 до 47 (18 точных дорожек) и фиолетового индикатора — от 50 до 79 (30 точных дорожек). На специальных навигационных картах РНС „Декка” дана такая же оцифровка дорожек. Номер дорожки на каждом таком индикаторе указывает малая стрелка по внутренней шкале, а значение долей точной дорожки — большая стрелка по внешней шкале. Один полный оборот

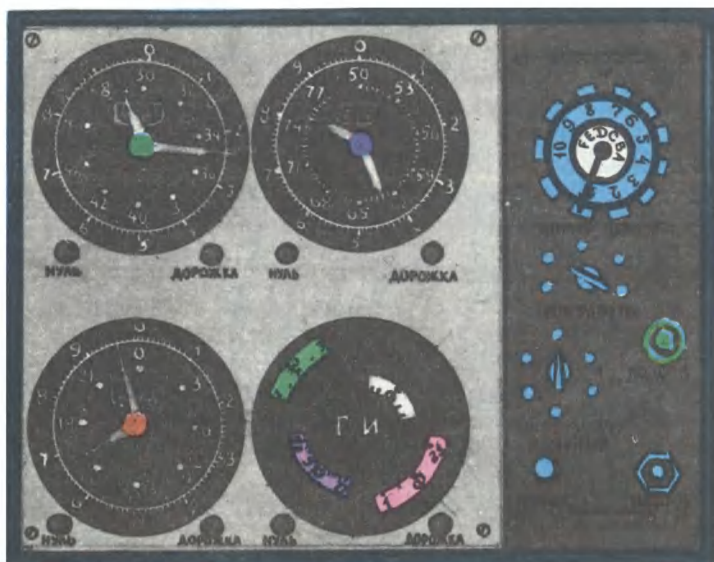


Рис. 65. Приемоиндикатор фазовой РНС „Пирс-1М”

большой стрелки соответствует перемещению малой стрелки на одно деление — дорожку. В специальной прорези циферблата точного индикатора высвечивается одна из букв от А до J, обозначающая индекс зоны.

Грубый индикатор служит для опознания номера точных дорожек при первоначальной установке малых стрелок на точных индикаторах. На вращающемся диске индикатора нанесены четыре шкалы, прикрытые шторкой с четырьмя прорезями. Внутренняя шкала разделена на шесть секторов с оцифровкой от 0 до 5. При работе прорезь шкалы подсвечивается белым светом три раза в минуту, освещая оцифровку сектора. Вторая от центра шкала относится к фиолетовому индикатору, третья шкала для красного индикатора и четвертая шкала (наружная) — для зеленого индикатора. Прорези этих шкал последовательно подсвечиваются красным, зеленым или фиолетовым светом, освещая в некоторых пределах оцифровку шкал (три деления по красной, два — по зеленой и шесть по фиолетовой шкале). Отсчеты по каждой шкале грубого индикатора снимаются по визирной риске.

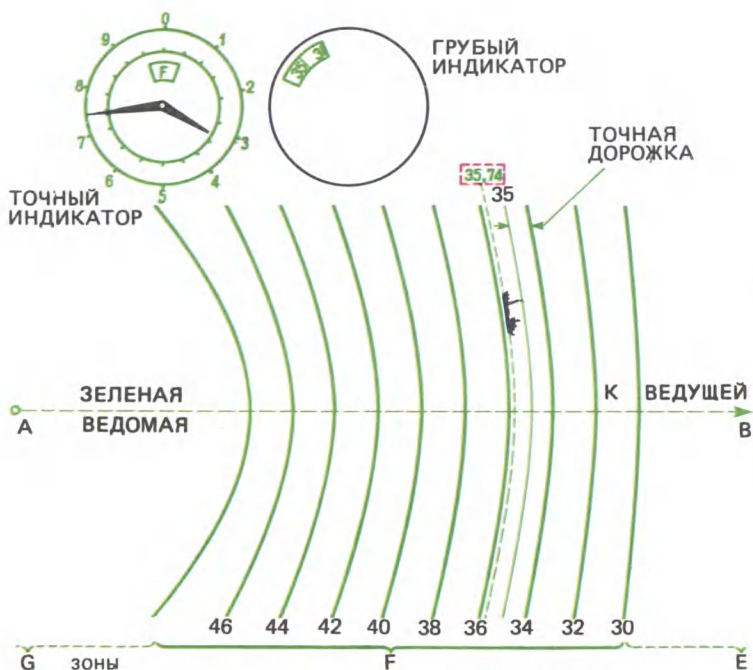


Рис. 66. Дорожки фазовой РНС

Предположим, что, принимая сигналы зеленой пары цепочки, судоводитель снимает с индикатора точного отсчета следующие значения: в прорези буква *F*, стрелка внутренней шкалы между делениями 35 и 36, а стрелка внешней — на отсчете 64. Это означает, что в данный момент судно находилось в зоне *F*, на точной дорожке 35 (рис. 66). На специальной карте этому отсчету соответствует определенная линия положения.

При движении судна указатели фазометров перемещаются непрерывно, выдавая отсчеты, соответствующие новому местоположению судна.

Для определения точного места на РНС „Декка” необходимо знать, какая цепочка действует в данном районе, установить ее обозначение на индикаторе переключателем „Номер цепочки” и нанести на гиперболическую карту счислимое местоположение судна. Если ошибка не превышает 0,5 ширины точной дорожки, то на всех точках фазометров (красном, зеленом и фиолето-

вом) по буквенным указателям устанавливаются снятые с гиперболической карты грубые дорожки (зоны).

С помощью четвертого грубого фазометра определяют номера точных дорожек трех пар, которые устанавливают на точных фазометрах ручками „Дорожка”. После выполнения этих операций определяют разность фаз в пределах точных дорожек с точностью до 0,01 фазового цикла и по этим показателям фазометров наносят на карту местоположение судна.

Фазовая РНС „Декка” обеспечивает точность определения места 0,3—0,5 мили на расстояниях до 600 миль днем и 0,5—1,5 мили на расстояниях до 300 миль ночью. Различная точность и дальность определения места в дневное и ночное время объясняются различными условиями прохождения радиоволн. В настоящее время работает свыше 50 цепочек этой системы, обеспечивая навигационную безопасность мореплавания практически во всех сложных в навигационном отношении районах. 75 % судов мирового флота пользуется РНС „Декка”.

Основным достоинством фазовых РНС является точность определения места судна, а недостатком — сравнительно низкая дальность действия, не позволяющая определять место судна при плавании вдали от берегов. Этому недостатка не имеют импульсно-фазовые РНС, которые также являются разностно-дальномерными гиперболическими. Радиосигналы импульсно-фазовой РНС могут приниматься на расстоянии 2500—2600 миль. Такое увеличение дальности действия этих систем объясняется режимом работы береговых станций, которые излучают сигналы в виде коротких импульсов со значительным интервалом между посылками. В результате этого передатчик работает на излучение только 0,1 % общего времени, что позволяет повысить мощность импульса и увеличить тем самым дальность действия.

Радионавигационная импульсно-фазовая система, также как и фазовая, состоит из береговых передающих станций, объединенных в группы или цепочки, и судовых приемоиндикаторов, обеспечивающих прием радиосигналов от группы станций. В районах Мирового океана в настоящее время действует более 10 цепочек, охватывающих северный, западный и центральный районы Тихого океана, северную часть Атлантического океана, побережья США и Канады и обеспечивающих надежное определение координат судна в любое время суток.

Береговые станции расположены на Восточном побережье США, Аляске, Алеутских островах, в Европе, Африке, Индокитае. Представителем этого типа РНС является „Лоран-С”. Для определения места судна пользуются двумя методами — импульсным и фазовым. *Импульсный* метод служит для приблизительного определения места судна, *фазовый* для точного. Импульсный метод основан на измерении промежутка времени между моментами прихода импульсных сигналов от двух береговых передающих радиостанций, а фазовый — на измерении разности фаз. Точность определения места судна при использовании поверхностной радиоволны 60—500 м. На предельных расстояниях точность определения места уменьшается до 1,5—5 миль вследствие неодинаковых условий распространения пространственных радиоволн. Для определения места импульсным методом в целях повышения точности измерения временных промежутков в приемоиндикаторах применяют ЭЛТ.

Измерение малых промежутков времени осуществляют компенсационным способом, заключающимся в том, что измеренный временной интервал сравнивается с искусственно образованным временным интервалом между двумя последовательными импульсами. Интервал может плавно изменяться, а время изменения — контролироваться по измерителю промежутков времени (механический счетчик или электронное табло).

На экране ЭЛТ индикатора образуются две развертки. На верхней линии формируется неподвижный пьедестал 2, а на нижней развертке — подвижный 1. Эти пьедесталы и являются измерительными импульсами (рис. 67,а). Перемещение нижнего пьедестала пропорционально временному интервалу между приходом двух импульсов. Принятые сигналы РНС после соответствующих преобразований поступают на ЭЛТ в виде пакета импульсов. На верхней развертке пакет импульсов от ведущей станции 3 устанавливается на неподвижном пьедестале. Подвижный пьедестал перемещают до тех пор, пока он не совпадает с пакетом импульсов от ведомой станции 4. Разность расстояний между пьедесталами будет соответствовать временному интервалу между сигналами ведущей и ведомой станций (рис. 67,б). Такие же операции осуществляются при определении точного места фазовым методом. Место судна по сигналам импульсно-фазовых РНС определяют приемоиндикатором

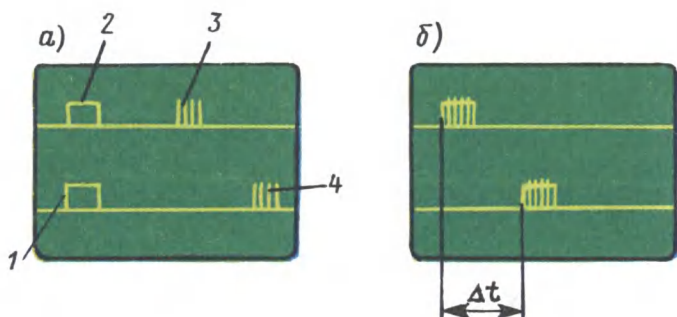


Рис. 67. Принцип определения временного промежутка в импульсно-фазовых РНС

„Ропша” (рис. 68), путем совмещения на экране ЭЛТ импульсов от пары станций. (Одновременно можно работать только с одной парой.) Время определения одной линии положения 1—1,5 мин. Минимальное время определения координат места судна по двум линиям положения составляет 3—4 мин.

В состав судовой приемной аппаратуры входит радиоприемное устройство с антенной, индикатор и синхронный фильтр. Радиоприемное устройство принимает сигналы, усиливает их и формирует выходные сигналы, поступающие на усилитель индикатора.

В индикаторе принятые сигналы усиливаются, преобразуются в видеосигналы и поступают на ЭЛТ для измерения (ручного или полуавтоматического) малых промежутков времени, являющихся навигационным параметром системы.

На передней панели приемоиндикатора расположены все необходимые органы управления, обеспечивающие включение, настройку и измерение навигационных параметров.

Три пакетных переключателя, расположенные слева, предназначены для выбора пар станций. Потенциометрами, расположенными справа, производят настройку приемоиндикатора: выравнивают и регулируют амплитуды сигналов, осуществляют подавление помех, определяют вид сигнала от пространственной или поверхностной волны и т. д. Кнопки „Перемещение” и тумблер „А—Б” предназначены для быстрого перемещения сигналов и пьедестала по линиям „Развертки”. После совме-

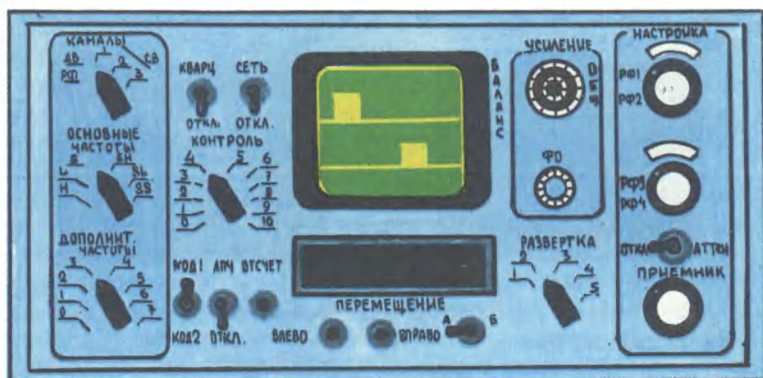


Рис. 68. Приемоиндикатор импульсно-фазовой РНС „Ропша”

щения верхнего и нижнего пьедесталов с пакетами импульсов ведущей и ведомой станций с индикатора снимают отсчет навигационного параметра. По двум-трем навигационным параметрам судоводитель с помощью карт, специальных таблиц или ЭВМ рассчитывает координаты места судна.

Преимуществами таких РНС являются: независимость от гидрометеорологических условий; возможность эксплуатации в любое время суток и года; неограниченное число потребителей (судов), использующих информацию РНС для определения координат места; возможность унификации судовой приемной аппаратуры и ее относительно небольшая стоимость.

Однако РНС не являются унифицированными средствами обеспечения определения места судна в море, так как они, хотя и обладают достаточной дальностью действия, не охватывают все районы плавания судов. Кроме того, с увеличением дальности до береговых станций РНС точность определения местоположения судна уменьшается. Немаловажно, что географическое положение нашей страны не позволяет разместить береговые станции РНС таким образом, чтобы обеспечить возможность определения места судна с требуемой точностью во всех районах Мирового океана. Это вынуждает судоводителей использовать информацию зарубежных РНС, что создает в ряде случаев объективные трудности.

§ 12. ПРИБОРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СУДНА ПО СПУТНИКАМ

Учитывая недостатки радионавигационных систем, ученые, инженеры, судоводители продолжали неутомимый поиск средства, способного обеспечить высокоточное определение места судна в любой точке Мирового океана. И как только с космодрома Байконур в 1957 г. на орбиту был запущен первый искусственный спутник Земли и наземные станции начали принимать его позывные из космоса, в лабораториях ученых всех стран закипела работа. Возникла заманчивая идея: запустить в космос на рассчитанные орбиты серию искусственных спутников Земли и по их сигналам, как по звездам, определять место судна. Звезды и планеты имеют стабильные параметры движения, и их орбиты остаются постоянными в течение сотен и тысяч лет, поэтому, зная законы движения небесных тел, можно на любой момент времени вычислить их положение (эфемериды) на небесной сфере.

Но как поведут себя на орбитах искусственные спутники Земли? Будут ли они подчиняться законам движения небесных тел? Как долго они будут существовать? Эти вопросы требовали ответа.

На движение спутников влияет множество факторов, и самый существенный из них — притяжение Земли. Приблизленно можно считать, что искусственный спутник после сообщения ему начальной скорости движется в пустоте под воздействием притяжения Земли, и для описания его движения можно воспользоваться законом Кеплера, согласно которому орбита спутника есть эллипс, в одном из фокусов которого находится Земля. Действительная орбита спутника всегда отличается от расчетной, так как на его движение влияет притяжение других небесных тел, в первую очередь Солнца и Луны, несимметричность поля тяготения Земли, сопротивление среды и др.

Таким образом, недостаточно вывести спутник на орбиту. Следует постоянно определять параметры его орбиты, предвычислять их на определенное, заданное время, уточнять и т. д. Затем всю эту информацию передают на спутник, который постоянно или по запросу передает ее потребителям (судам). Следовательно, кроме спутни-

ков необходимо иметь целый комплекс наземных станций, осуществляющих непрерывное наблюдение и вычисляющих параметры их движения.

Определение координат судна в море обеспечивает спутниковая система навигации (ССН), представляющая собой сложный комплекс функционально связанных технических средств. В ее состав входят: система навигационных спутников, ракетный комплекс, командно-измерительный комплекс, судовые аппаратурные комплексы. Ракетный комплекс предназначен для вывода навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ) на заданные орбиты как при создании системы, так и в процессе ее эксплуатации для замены спутников, вышедших из строя.

Командно-измерительный комплекс обеспечивает контроль за состоянием НИСЗ и управление их работой; проведение траекторных измерений НИСЗ; привязку работы всей ССН к единому времени; прогнозирование движения НИСЗ и передачу необходимой информации в запоминающее устройство навигационного спутника.

Командно-измерительный комплекс состоит из нескольких взаимосвязанных и взаимодействующих между собой береговых командно-измерительных пунктов (КИП), которые осуществляют непосредственный радиокontakt со спутниками. Вся информация с КИП передается в вычислительный центр, где на ее основе вырабатываются сигналы управления, которые вновь поступают на КИП и через них передаются на спутники. Учитывая ограниченные размеры территории нашей страны по отношению к Мировому океану, в сеть береговых стационарных КИП включают и подвижные, располагаемые на экспедиционных судах. К ним относятся суда Академии наук СССР „Космонавт Юрий Гагарин“, „Академик Сергей Королев“, „Космонавт Владимир Комаров“ и др. С помощью командно-измерительного комплекса рассчитывают точную траекторию движения спутника, и задача определения места сводится к следующему: осуществить относительную привязку НИСЗ — судно, т. е. определить положение судна на данный момент времени относительно спутника; определить координаты НИСЗ в момент измерения навигационных параметров; вычислить координаты судна.

Сам навигационный спутник представляет собой сложный комплекс технических средств, способный функциони-

ровать в условиях космоса в течение длительного срока. Спутник состоит из навигационной аппаратуры, антенных устройств, систем электропитания, систем ориентации антенн на Землю, аппаратуры телеметрического контроля. Информация навигационных спутников принимается судовым приемоиндикатором.

Главными преимуществами ССН являются глобальность, быстрота определения навигационных параметров (широты и долготы места судна) с высокой точностью. Наряду с этим система навигационных спутников может решать и целый ряд других задач в интересах мореплавания: предупреждать суда об аварийной ситуации; определять места аварий судов и самолетов; передавать на суда прогноз погоды; предупреждать суда об опасной ситуации в атмосфере и океане (бури, штормы, циклоны и т. д.); обеспечивать суда радиосвязью и др.

ССН „Транзит” эксплуатируется с 1964 г. Она состоит из 6 спутников, высота орбиты которых 1100 км. За одни сутки каждый спутник совершает 13,5 оборота вокруг Земли. Траектории движения спутников контролируются контрольно-измерительным комплексом по информации от КИП. Режим движения спутников составлен таким образом, что судоводитель может наблюдать один из спутников в среднем через каждые 2,5 ч.

Установленные на судах приемоиндикаторы решают следующие задачи: определяют ожидаемое время прохождения спутника; индикацию гринвичского времени; определяют координаты судна (широту и долготу) с оценкой точности; ведут автоматические счисления координат в промежутках между наблюдениями.

Для решения этих задач в приемоиндикаторах используют специализированные миниатюрные вычислительные машины.

Определение местонахождения судна ССН „Транзит” производится с применением эффекта Доплера (см. § 8). Доплеровский сдвиг образуется за счет перемещений спутника и судна, поэтому для расчета координат в вычислительное устройство приемоиндикатора во время наблюдений вводятся курс и скорость судна. В приемоиндикаторе имеется система программного автосопровождения спутников. Вычислительное устройство рассчитывает и запоминает орбиты каждого спутника. В момент прохождения спутников приемник настраивается на тот из них, который позволяет определить местонахож-

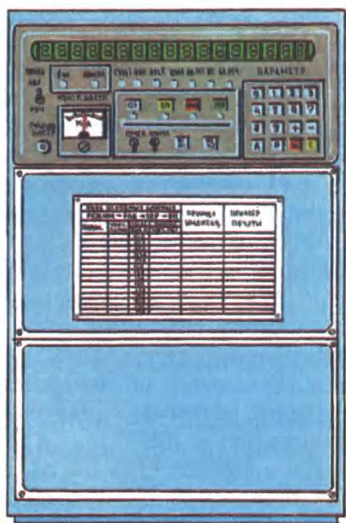


Рис. 69. Приемник-индикатор судового комплекса „Шхуна”

дение судна с наибольшей точностью. Автосопровождение осуществляется до выхода спутника из зоны радиовидимости или при появлении другого спутника, по которому можно более точно определить место.

На советских судах для определения места по навигационным спутникам устанавливают судовой комплекс приемник-индикаторной и вычислительной аппаратуры „Шхуна”. В состав комплекса входят антенна, приемник-индикатор, регистратор, устройство сопряжения с датчиками курса и скорости.

Антенна служит для приема и усиления радиоволн, излучаемых навигационными

спутниками. Основным прибором комплекса является приемник-индикатор. В нем решаются все основные задачи по обработке принятого сигнала, определению доплеровского сдвига, вычислению географических координат и их индикации.

Конструктивно приемник-индикатор выполнен в виде стойки, в которой размещены блоки приемного устройства, специализированной цифровой вычислительной машины, пульт управления и контроля и блок питания (рис. 69).

Приемное устройство предназначено для приема сигналов от антенного усилителя, их преобразования и выделения доплеровской частоты, а также информации об эфемеридах НИСЗ.

Кроме выполнения основных задач приемное устройство обеспечивает: автоматическое вхождение в связь с НИСЗ; слежение за принятым сигналом; восстановление связи после кратковременных потерь; ручную настройку связи с НИСЗ; имитацию сигналов для проверки общего функционирования комплекса.

Специализированная ЦВМ предназначена: для приема и хранения информации, поступающей от приемного устройства, пульта управления и датчиков курса и ско-

рости; для решения различных задач, выдачи информации на индикаторное табло и регистратор, индикации технического состояния комплекса.

Перед началом сеанса судоводитель готовит приемоиндикатор комплекса „Шхуна” к работе и по результатам решения тестовых задач (индикация на табло и печать на ленте) определяет готовность аппаратуры.

При определении места судна на индикаторном табло будут высвечиваться: первые 10 с — время с момента начала счисления или последней обсервации и счисляемое время (часы, минуты); вторые 10 с — счисляемая широта и счисляемое время; третьи 10 с — счисляемая долгота и счисляемое время.

После появления в зоне радиовидимости спутника приемник начинает в автоматическом режиме принимать его сигналы. На табло будет высвечиваться текущее время. После набора необходимой информации ЦВМ автоматически перейдет к решению навигационной задачи и на табло будет зафиксировано время окончания сеанса. Результат решения отпечатывается на ленте в последовательности: $t_{об}$, φ_0 , λ_0 , H_c , v_c , P_c .

Расшифровка результатов решения приведена ниже.

Номер параметра	Обозначение	Наименование	Пример печати
10	$t_{об}$	Время, к которому отнесены обсервованные координаты	10P1P09,55,00 (т. е 9 ч, 55 мин, 00 с)
21	φ_0	Широта обсервованная	21P1P+0,35°45,83
22	λ_0	Долгота обсервованная	22P1P+133°35,15
43	H_c	Направление сноса судна	43P1P+140°18
44	v_c	Скорость сноса судна	44P1P+001,5
16	P_c	Признак учета обсервации	16P1P00 (обсервация учитывается) 16P1P01 (обсервация не учитывается)

Таким образом, время, к которому отнесены обсервованные координаты, — 9 ч, 55 мин, 00 с, широта места судна — 35° 45,83, долгота — 133° 35, 15. На ленте регистратора результаты решений навигационной задачи будут выглядеть так:

10P1P09,55,00 21P1P+035°45,83 22P1P+133°35,15...

Использование спутников открывает поистине фантастические перспективы для судовождения. Выводом на определенные орбиты необходимого количества искусственных спутников можно обеспечить непрерывный режим определения места судна. Однако этим не исчерпываются возможности космических навигационных систем. Уже сейчас с их помощью осуществляются спасательные работы — спутник принимает сигналы с терпящего бедствие судна и передает его координаты в центр управления. К месту бедствия высылают спасательные суда и вертолеты. Спутники способны транслировать в центр управления подробную обстановку в любом районе Мирового океана.

§ 13. РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ — „ГЛАЗА” СУДНА

Свойство радиоволн прямолинейно и с постоянной скоростью распространяться в однородной среде и отражаться от препятствий позволило создать еще одно замечательное навигационное средство — радиолокационные станции (РЛС).

РЛС представляет собой электромеханическое устройство обнаружения и определения местоположения объектов, находящихся в зоне действия станции.

Как отмечалось в гл. 1, эффект отражения радиоволн первыми наблюдали русские моряки во время опытов по радиосвязи проводимых А. С. Поповым в 1897 г. Спустя несколько лет специальный эксперимент по подтверждению этого явления был проведен кельнским инженером Хюльсмейером. В 1904 г. он получил патент на „Способ сигнализации от отдаленных объектов при помощи электромагнитных волн”. Так был сформулирован основной принцип радиолокации.

Радиолокационные системы впервые появились как устройства для обнаружения вражеских самолетов и кораблей в отсутствие видимости. В марте 1938 г. начала работать первая в мире РЛС, разработанная шотландским физиком Р. Утсон-Уаттом. В ее функцию входила охрана устья Темзы. В 1941 г. Ю. В. Кобзаревым, П. А. Погорелко, П. Я. Чернецовым была создана первая отечественная РЛС.

В настоящее время область применения РЛС очень велика. Это наблюдение за облачным покровом в метео-

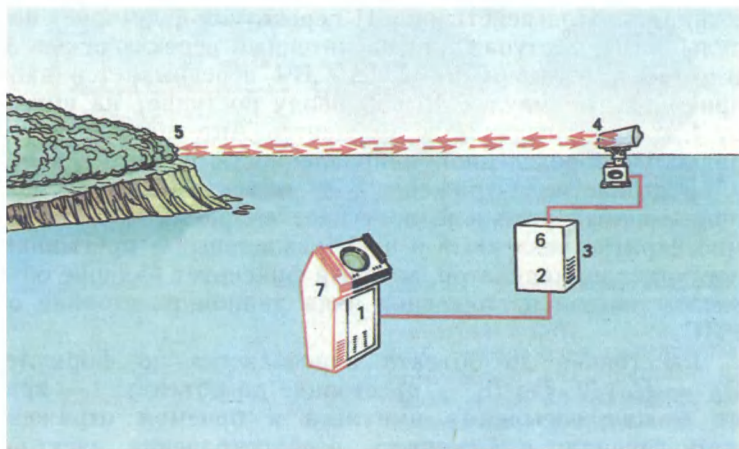


Рис. 70. Упрощенная схема РЛС

рологии, обеспечение слепой посадки самолетов, стыковка космических кораблей и т. д. В судовождении РЛС используются как для предупреждения столкновения судов, так и в навигационных целях — для контроля и определения местоположения судна в условиях малой видимости, особенно при плавании вблизи берегов и в узкостях, в тумане. Согласно требованиям Международной морской организации ИМО, все морские суда должны быть оснащены РЛС.

Принцип радиолокации можно сравнить с эффектом звукового эха.

Общее представление о работе РЛС, наиболее широко применяемой в судовождении, можно получить при рассмотрении ее упрощенной схемы (рис. 70). Основными устройствами радиолокатора являются передатчик, антенна с волноводным устройством (специальный канал для распространения радиоволн) и индикатор.

Синхронизатор 1 обеспечивает импульсную работу радиолокатора. Он формирует импульсы очень короткой длительности с определенной частотой повторения, называемые *запускающими* (ЗИ). Запускающие импульсы поступают в передатчик РЛС 2, служащий для формирования мощных импульсов сверхвысокой частоты, и одновременно на индикатор 7. До прихода ЗИ происходит накопление энергии, т. е. передатчик работает в режиме

ожидания. Под действием ЗИ передатчик формирует импульс СВЧ, поступающий на антенный переключатель 3. В момент передачи импульса СВЧ переключается вход приемника и импульс по волноводу поступает на антенну 4, которая непрерывно вращается. Антенна формирует радиолуч определенной направленности и излучает его в пространстве. Отраженный от объекта 5 эхо-сигнал, принимаемый антенной, поступает в приемник 6, затем, многократно усиленный и преобразованный в приемнике, поступает на индикатор, который фиксирует наличие объекта в данном направлении и на данном расстоянии от РЛС.

Расстояние до объекта определяется по формуле: $D_p = (tc)/2$, где D_p — расстояние до объекта; t — время между посылками импульса и приемом отраженного сигнала; c — скорость распространения электромагнитных волн.

В судовых РЛС в качестве индикатора применена электронно-лучевая трубка с круговым обзором — индикатор кругового обзора (ИКО). Изображение на ИКО создается специальной электронной схемой — разверткой кругового обзора, принцип действия которой заключается в следующем: в момент излучения импульса передатчика через отклоняющее устройство электронно-лучевой трубки проходит ток, образующий магнитное поле, которое вызывает радиальное отклонение электронного луча от центра к периферии. Возвращение луча в исходное положение происходит практически мгновенно. Одновременно другое отклоняющее устройство создает вращающееся магнитное поле, которое вызывает вращение луча по кругу. Направление перемещения луча согласовано с направлением антенны, при ее вращении вращается и развертка и на экране трубки видна светящаяся радиальная линия, вращающаяся вокруг центра экрана.

В начальной части радиуса вблизи экрана трубка будет засвечиваться от отображения близлежащих объектов. Чем больше дистанция до объектов, тем позже будет приходить их радиолокационный эхо и их отметки будут располагаться дальше от центра экрана. Для одновременного обзора района плавания надо, чтобы элементы радиолокационного изображения не исчезли сразу, а сохранились бы по крайней мере в течение одного оборота антенны, поэтому в радиолокаторах кругового обзора используют ЭЛТ с длительным послесвечением экрана.

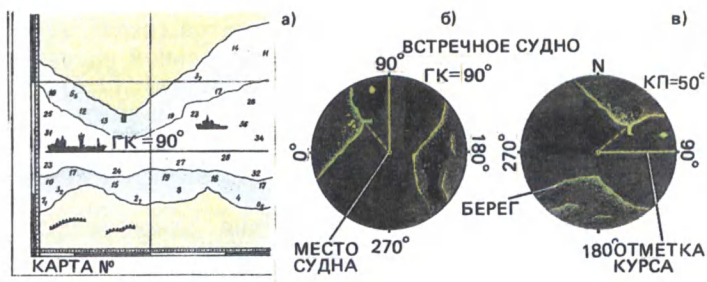


Рис. 71. Изображение надводной обстановки: а — на морской навигационной карте; б — на экране РЛС; изображение ориентировано относительно диаметральной плоскости судна; в — на экране РЛС; изображение ориентировано относительно N

Совокупность принятых эхо-сигналов (ярких отметок) на ИКО создает изображение окружающей надводной обстановки в определенном масштабе, зависящем от установленной шкалы дальности.

На рис. 71,а показаны судно с РЛС, береговая черта и встречное судно. На рис. 71,б и в показано изображение радиолокационной ситуации, которую можно наблюдать на экране радиолокатора.

Направления на объекты определяются с помощью неподвижной шкалы — азимутального круга и подвижной, которая связана с гирокомпасом. Отсчеты пеленгов и курсовых углов осуществляются посредством механического визира (вращающейся линейки) или электронного визира (электронной линейки). Расстояние до объектов рассчитывают с помощью электронных неподвижных кругов дальности (НКД) и электронного подвижного круга дальности (ПКД). Первые служат для приближенного определения дальности, последний — для точного. Для этого радиус ПКД устанавливают так, чтобы круг коснулся переднего фронта, изображенного на ИКО объекта. Расстояние снимается со счетчика дальности.

Изображение на ИКО может быть ориентировано относительно диаметральной плоскости судна и относительно истинного меридиана N_i . При ориентировании изображения по курсу штурман на ИКО видит такую же

картину взаимного расположения объектов (берег, встречные суда и т. д.) относительно диаметральной плоскости, как и при визуальном наблюдении (см. рис. 71,б). При этом отметка курса находится на нуле азимутального круга ИКО и совпадает с диаметральной плоскостью судна. По шкале азимутального круга отсчитываются курсовые углы на объекты.

При ориентировании изображения относительно *N* (см. рис. 71,в) штурман на ИКО видит картину, похожую на изображение района плавания (при плавании вблизи берега) на морской навигационной карте (см. рис. 71,а). При этом нуль азимутального круга совпадает с направлением *N*. В этом случае по шкале азимутального круга отсчитываются пеленги на объекты и курс судна. При повороте судна изображение на ИКО остается неподвижным, а отметка курса перемещается в сторону поворота.

Возможности навигационных РЛС определяются их эксплуатационными характеристиками, к которым относятся: максимальная и минимальная дальности действия, разрешающая способность, точность измерения радиолокационных пеленгов и дистанций.

Судовые навигационные РЛС используют волны сантиметрового диапазона (3 и 10 см), которые распространяются и отражаются по таким же законам, как и световые волны, т. е. прямолинейно. Поэтому максимальная дальность действия РЛС определяется дальностью радиолокационного горизонта и лежит в пределах 16—64 миль. Она зависит от высоты антенны над уровнем моря, высоты наблюдаемых объектов, а также от их отражающих свойств. Дальности обнаружения конкретных объектов навигационной РЛС, мили, при высоте антенны 15 м и длине волны 3 см приведены ниже:

Небольшие деревянные суда	1—4
Суда водоизмещением 1000 т, плавмайки	6—10
Крупнотоннажные суда	10—20
Большие буи	4—6
Холмы, горы	15—40
Причалы, волноломы	5—10

Минимальная дальность действия РЛС — это наименьшее расстояние от судна, на котором объекты могут обнаруживаться. У современных навигационных РЛС оно составляет 30—90 м. Наименьшая дальность действия — очень важная характеристика РЛС, так как определяет

возможность прохода судном узкостей в плохую видимость. В этих условиях особое значение имеют такие технические характеристики радиолокатора, как разрешающая способность по дальности и по направлению. Первая характеризуется наименьшим расстоянием по дальности, когда объекты на экране, расположенные по одному направлению, видны раздельно. Вторая характеризуется наименьшей величиной угла между двумя объектами, находящимися на одинаковом расстоянии от судна, когда объекты на экране РЛС видны раздельно. У современных РЛС разрешающая способность по углу достигает 1° , точность измерения расстояния по ПКД лежит в пределах 0,5—3 % измеряемой дальности, а точность измерения направления по электронному визиру не более 0,5—1,0°.

В дождь, снегопад, туман дальность действия РЛС снижается вследствие того, что часть излучаемой электромагнитной энергии поглощается частицами воды. При небольших дождях дальность снижается примерно на 10 %, при очень сильных дождях, ливнях дальность обнаружения судов может уменьшиться на 30 % и более. Например, резкое уменьшение радиолокационной видимости послужило одной из причин посадки на мель теплохода „Бела Кун” Черноморского морского пароходства.

31 августа 1983 г. в 00 ч 22 мин теплоход снялся с якоря и начал маневрирование для выхода с рейда порта Кайбарьен (Куба) и перехода в порт Гавана. В 00 ч 26 мин с помощью РЛС убедились, что судно следует по намеченной траектории. Вскоре из-за налетевшего сильного шквала с ливнем на экране РЛС исчезло изображение, что лишило судоводителя возможности контролировать движение судна. В 00 ч 30 мин в результате сильного сноса оно село на мель.

Некоторые современные РЛС имеют два частотных диапазона. Диапазон 3 см используется при ясной атмосфере, 10 см — при плохой видимости в дождь и туман.

Наиболее сложным вопросом в практическом использовании РЛС в кораблевождении является оценка навигационной обстановки по изображению на экране ИКО. Картина, видимая на экране, только в общих чертах напоминает действительные очертания берега, указанного на морской навигационной карте и схемах, встречных судов, буев и т. д. Для того чтобы расшифровать и прочитывать эту картину, судоводителю необходимы опыт и зна-

ние района плавания. Неправильная оценка радиолокационного изображения, в особенности в плохую погоду, может привести к ошибочным решениям. Так, например, 25 июля 1956 г. на расстоянии около 200 миль от Нью-Йорка произошла одна из крупнейших морских трагедий XX в.: в результате столкновения погиб итальянский лайнер „Андреа Дориа”. Его капитан, неправильно ориентируясь по РЛС в тумане, подставил борт своего судна под удар шведского парохода „Стокгольм”.

В настоящее время для повышения безопасности мореплавания особое внимание уделяется оборудованию судов средствами автоматической радиолокационной прокладки (САРП).

Функции САРП состоят в том, чтобы, получив отраженные видеосигналы от объектов из приемника РЛС, записать их в память ЭВМ, обработать и обеспечить воспроизведение обработанной информации на экране в удобной для судоводителя форме. Применение САРП позволяет непрерывно производить точную и быструю оценку навигационной ситуации и автоматически определять параметры движения судов.

Примером РЛС с автоматической радиолокационной прокладкой является станция „Океан-С”, которая с 1983 г. устанавливается на морских крупнотоннажных судах. „Океан-С” представляет собой двухдиапазонный радиолокатор кругового обзора с индикацией истинного и относительного движения, обеспечивающий расхождение не менее чем с 57 судами. Ее технические характеристики следующие: рабочая длина волны 3—10 см; шкала дальности 1; 2; 4; 8; 16; 32; 64 миль; диаметр экрана индикатора 450 мм; разрешающая способность по дальности не хуже 15 м на шкале 1 мили; разрешающая способность по направлению $0,7^\circ$ в диапазоне 3 см и приблизительно 2° в диапазоне 10 см; точность определения расстояния 0,6—1,5 % от измеряемой дальности; точность определения направления примерно $1,5^\circ$. РЛС сопрягается с гирокомпасом, лагом, ЭВМ. РЛС „Океан-С” выпускают в различных комплектациях. Основная состоит из двух антенн, двух приемопередатчиков (3 и 10 см) и двух идентичных индикаторов, каждый из которых включает в себя САРП. Любой из двух индикаторов может подключаться к любому приемопередатчику. Возможна также работа обоих индикаторов с одним приемопередатчиком.

В каждом индикаторе, независимо от того, работает РЛС на одной волне или разных, обеспечивается автономная цифровая обработка на ЭВМ радиолокационной информации. Режимы работы РЛС являются основой, т. е. режим использования как обычной навигационной РЛС, и режим автоматической радиолокационной прокладки, когда обеспечивается автоматическое вычисление параметров движения 57 целей, их автоматическое сопровождение и отображение на экране в виде символов. Например, символ сопровождаемой цели имеет форму „кораблика”, острый угол которого показывает направление его истинного перемещения, а символ „электронное кольцо” означает, что цель неподвижна.

Внешний вид индикатора показан на рис. 72. В левой части лицевой панели управления размещена ЭЛТ диаметром 450 мм с неподвижным азимутальным кругом. Под экраном помещены семь сенсорных переключателей шкал дальностей. В правой части панели расположен пульт контроля, управления и сигнализации с табло для отображения цифровой информации. На пульте размещено 35 сенсорных переключателей различного назначения для управления станцией со световым табло, указывающим состояние переключения. В нижней правой части пульта расположен регулятор положения электронного маркера на экране ЭЛТ.

Сенсор „Прием маяков” позволяет включать в приемопередатчике канал приема сигналов радиолокационных маяков-ответчиков.

РЛС „Океан-С” отличается высокой степенью автоматизации обработки и отображения радиолокационной информации. Как и другие навигационные РЛС, она широко используется судоводителями для определения места судна при плавании в узкостях и в условиях плохой видимости как по пеленгам наблюдаемых объектов, так и по расстоянию до них. Однако для определения

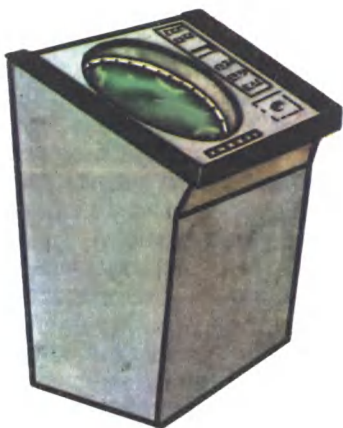


Рис. 72. Внешний вид индикатора РЛС „Океан-С”

места судна с помощью навигационных РЛС штурману необходимо хорошо знать район плавания, иметь опыт использования РЛС, т. е. уметь «читать» информацию на экране локатора. Так, например, изображение береговой черты на экране локатора в большинстве случаев не соответствует фактическим очертаниям берега. Задача штурмана — разобраться в полученной информации.

Изображение на экране локатора может зависеть как от энергетических параметров РЛС, так и от способности объекта отражать электромагнитные колебания. Хорошими отражателями являются скалы, обрывистые берега, строения и т. п. Отраженный от них сигнал дает на экране локатора четкое и яркое изображение. Определить дальность и направление на эти объекты не сложно. Но при плавании часто встречаются районы с низкими пологими берегами, песчаными отмелями, отражающие способности которых недостаточны для получения изображения на экране. И, наконец, радиолокатор не предупреждает штурмана о подводных опасностях — мелях, затонувших судах и др.

Как в этих случаях использовать радиолокацию? Сможет ли она помочь штурману в обеспечении навигационной безопасности судовождения? Повысить эффективность использования РЛС можно, например, разместив в районах, опасных в навигационном отношении, радиолокационные отражатели и радиолокационные маяки-ответчики.

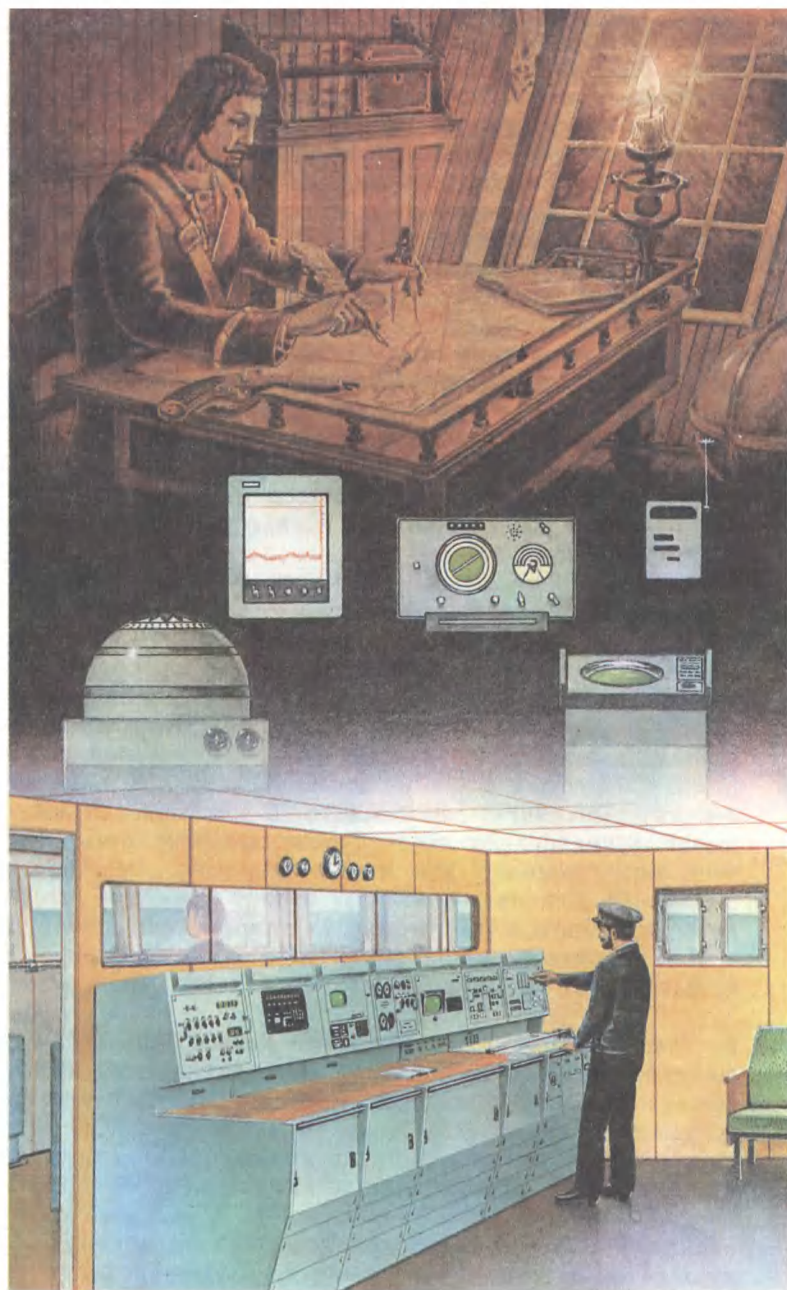
Радиолокационный отражатель (РО) представляет собой металлическую конструкцию, образованную тремя плоскостями, расположенными под прямым углом друг к другу. Размеры граней уголков составляют 40—50 см. Мощность отраженного сигнала от РО больше мощности сигнала, отраженного от судна водоизмещением 1000 т при условии, что РО размещен на достаточно большой высоте.

Радиолокационные отражатели устанавливаются на маяках, буйах, знаках. Как правило, эти объекты отмечены на навигационных картах. Радиолокационными отражателями оборудуют малые суда, шхуны, яхты, шлюпки. Дальность обнаружения радиолокатором спасательных шлюпок, оборудованных отражателями, увеличивается с 3 до 7 миль.

Радиолокационные маяки-ответчики (РМО) в отличие от радиолокационных отражателей являются активными

средствами излучения электромагнитной энергии. Они представляют собой маломощные излучатели импульсной энергии, излучающие единичные импульсы во всех направлениях, как только на входе их приемных устройств появляется сигнал от судового радиолокатора. Излучаемая РМО электромагнитная энергия значительно интенсивнее энергии эхо-сигнала от пассивного отражателя. Основное преимущество РМО в том, что они позволяют безошибочно распознавать отдельные объекты, находящиеся на берегу или представляющие собой плавучие ограждения, так как каждый маяк имеет свой опознавательный сигнал.

Радиолокационный маяк-ответчик имеет два режима работы: ожидания и излучения. В режиме ожидания РМО никаких сигналов не излучает, а работает на прием. В момент приема сигнала от судовой РЛС маяк автоматически начинает излучать собственные импульсы, которые принимаются антенной РЛС и отображаются на экране локатора.



5

НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И АВТО- МАТИЗАЦИЯ СУДО- ВОЖДЕНИЯ

§ 14. НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ — НОВАЯ СТУПЕНЬ В РАЗВИТИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ

Появление на судах замечательных технических средств навигации, с одной стороны, позволило штурману более гарантированно решать задачи навигационной безопасности плавания, а с другой — усложнило его деятельность. Надо управлять всей этой техникой, контролировать правильность работы каждого прибора, уметь разобраться в многочисленной и разнородной информации, оценить ее и выбрать наиболее достоверную.

Кроме того, ни одно из созданных технических средств навигации, взятое в отдельности, не может решить полностью и с достаточной надежностью основную задачу судовождения — вывод судна в заданное место с необходимой точностью в любых условиях плавания.

Каждое из них, обладая определенными достоинствами, имеет свои недостатки и ограничения в использовании. Гирокомпасы и лаги достаточно точно работают на прямом курсе, но имеют существенные погрешности на маневрировании. Кроме того, точность гирокомпасов снижается с увеличением широты плавания.

Приемоиндикаторы РНС не имеют накапливающихся во времени ошибок, просты в эксплуатации и непрерывно определяют место судна, однако работают только в определенной зоне действия, имеют ограничения по дальности и точность их зависит от времени года, суток и расстояния до береговых передающих станций. На работу РНС оказывают воздействие естественные и искусственные помехи.

Наиболее верно и на любом удалении от берега определяют место судна с помощью ССН, однако она не обес-

печивает непрерывность обсерваций и требует точного учета скорости во время расчета доплеровского сдвига частот.

РЛС наглядно отображают окружающую судно обстановку, но имеют ограниченную дальность действия и на их работу заметное влияние оказывают осадки в виде дождя и снега и гребни морских волн, отражающие радиосигналы.

С развитием систем и методов навигации, естественно, возник вопрос: нельзя ли, объединив в единый комплекс, т. е. в единую замкнутую систему, независимые технические средства навигации, скомпенсировать недостатки и ограничения одних за счет достоинств и более широких возможностей других и тем самым повысить точность и уровень автоматизации в определении навигационных параметров.

Решению этого вопроса во многом способствовало широкое внедрение на суда электроники и, в особенности, ЭВМ.

Создание навигационных комплексов, в которых с помощью ЭВМ объединены различные источники навигационной информации, позволило сделать еще один шаг вперед в повышении точности, надежности и автоматизации судовождения.

Навигационные комплексы различаются по количеству датчиков навигационной информации, объему вырабатываемой информации, ее точности и форме представления. Основными компонентами навигационных комплексов, как правило, являются: ЭВМ; измерители курса; лаги; приемоиндикаторы РНС различных типов; приемоиндикаторы ССН; РЛС; приборы документирования навигационной информации; системы электропитания; пульты управления и индикации.

Все технические средства навигации, объединенные в единый комплекс, выступают не как „конкуренты”, а как „союзники”.

Точность при комплексировании удается повысить благодаря тому, что характер погрешности измерения навигационных параметров у технических средств навигации различен. Например, у автономных приборов — гирокомпасов и лагов погрешности измерения курса и скорости меняются медленно, т. е. имеют низкочастотный характер, погрешности РНС и ССН, наоборот, изменяются с относительно высокой частотой. Это позволяет

при совместной обработке сигналов в ЭВМ с помощью специальных математических и программных методов выделить нужный нам полезный сигнал, отфильтровав его, т. е. „очистив” от различных систематических, грубых и случайных погрешностей. Другими словами, ЭВМ сравнивает и анализирует информацию от различных источников и вычисляет наиболее вероятные значения. При этом делает это ЭВМ быстрее и лучше, чем мозг и руки мореплавателя.

Таким образом, после обработки в ЭВМ оператору будут представлены обобщенные выходные параметры, которые по точности превышают данные каждого средства в отдельности.

Упрощается работа штурмана и по управлению приборами. Теперь уже не оператор, а ЭВМ может следить за работой каждого средства и, сравнивая его показания с суммарным выходным сигналом, определять, достаточно ли точно и надежно оно работает, и отключать из обработки при неисправностях. Сигнал об отказе поступает из ЭВМ на пульт штурмана.

Некоторую выгоду дает комплексирование и в части сокращения объема оборудования, поскольку при объединении различных средств и даже дублировании их все основные вычислительные и управляющие процессы осуществляются в одной ЭВМ.

Комплексирование помогает и решению эргономических задач — все органы управления и индикации необходимой штурману информации могут быть сконцентрированы в одном месте и представлены в наиболее удобном для него виде, например, на специальном пульте в штурманской или ходовой рубке.

Отображение пути судна осуществляется не только на индикаторах, но и на специальном приборе — автоматическом прокладчике, в котором на карте особым пером, управляемым по сигналам ЭВМ, отмечается путь судна.

Комплексирование позволяет также автоматизировать решение следующих задач: непрерывное счисление пути судна; повышение надежности информации; выбор средств коррекции навигационного комплекса на момент уточнения координат места; расчет поправок курса, скорости, суммарного сноса судна; устранение неоднозначности измерений; обнаружение в районе плавания других судов и автосопровождение их; оценка навигационной

ситуации, ручное и автоматическое „проигрывание” маневров расхождения со встречными судами и др.

Конкретные решаемые задачи, состав навигационного комплекса и его структура определяются назначением судна, его водоизмещением, районами использования и автономностью плавания.

В качестве примера рассмотрим навигационный комплекс „Бирюза-НК”, являющийся составной частью системы автоматизации процессов навигации, судовождения, планирования грузовых операций „Бирюза”, предназначенной для крупнотоннажных судов морского флота.

В состав навигационного комплекса „Бирюза-НК” входят следующие датчики навигационной информации: гироазимуткомпас „Вега” с двумя основными приборами, один из которых является резервным;

магнитный компас КМ-145 с дистанционной передачей магнитного курса;

индукционный электронный лаг ИЭЛ-2М;

приемоиндикатор сигналов РНС ближней навигации „Декка”, „Пирс-1М”;

приемоиндикатор сигналов РНС средней навигации РЭ;

приемоиндикатор сигналов РНС дальней радионавигации РО-П;

радиодоплеровский лаг РДЛ-3;

автоматизированный прокладчик пути судна;

приемоиндикатор ССН „Цикада”— „Шхуна”;

приемоиндикатор ССН „Транзит”— „Бирюза-СН”;

информационно-управляющий модуль „Бирюза-ИУ”, содержащий мультипроцессорную вычислительную систему с большой степенью интеграции и набором средств сопряжения с потребителями информации;

навигационный пульт, выполненный в виде отдельных стандартных секций;

измеритель скорости поворота „Галс”;

приборы питания, трансляции и сигнализации.

Навигационный комплекс построен по модульному принципу, который позволяет осуществлять гибкое наращивание или сокращение самостоятельных приборов — модулей при создании комплектаций для различных судов.

Взаимосвязь приборов навигационного комплекса между собой и с модулями системы комплексной автоматизации судовождения показана на рис. 73.

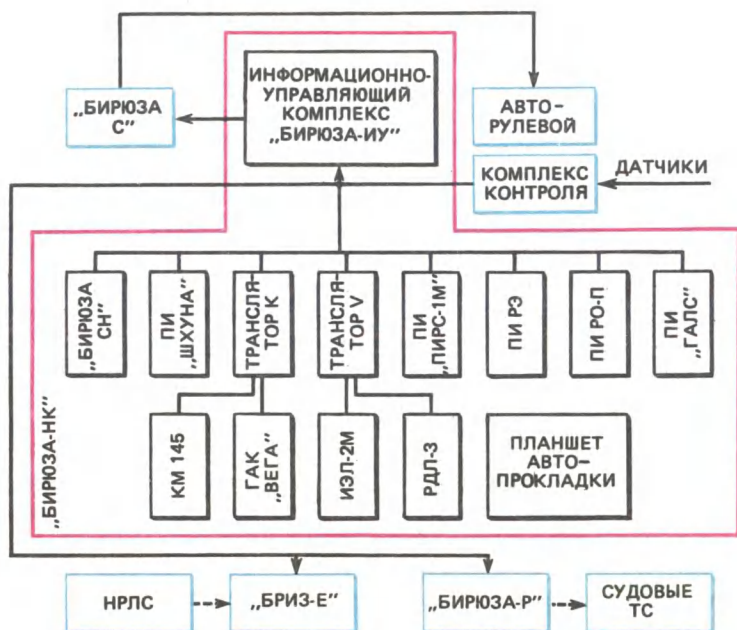


Рис. 73. Структурная схема навигационного комплекса „Бирюза-НК“

Навигационный комплекс позволяет решать следующие задачи:

измерение курса и скорости судна;

автоматическое счисление пути судна с оценкой точности;

прокладка линии пути судна и расчет географических координат любой точки карты меркаторской проекции (с использованием планшета „Бирюза-П“);

уточнение места судна по данным приемоиндикаторов РНС, по измерениям высот светил, а также по данным о пеленге и дистанции до неподвижных ориентиров с известными координатами (по информации от РЛС);

автоматическая совместная обработка навигационной информации, поступающей от различных датчиков;

прогноз координат места, курса, скорости и времени хода до заданной точки;

расчет угла ветрового дрейфа;

выполнение навигационных эпизодических расчетов

(определение поправки компаса, угла дрейфа, времени восхода и захода солнца и др.);

трансляция выработанной информации потребителям; определение судового и гринвичского времени и др.

Выработанные данные отображаются на электронном дисплее и используются для автоматической прокладки пути судна на карте.

При работе навигационного комплекса совместно с другими модулями системы комплексной автоматизации судовождения (системой автоматизированной радиолокационной прокладки „Бриз-Е”, комплексом регистрации данных „Бирюза-Р”, комплексом судовождения „Бирюза-С”) решаются также задачи определения элементов движения цели, т. е. встречных и других судов в районе плавания, автоматическое сопровождение до 20 судов, непрерывное определение их элементов движения и прогнозирование их местоположения; оценки степени опасности сближения с целями; выбора маневра на расхождение с опасным судном, а также задачи автоматического управления движением судна, включая стабилизацию движения на прямом курсе и поворот по заданной программе.

Управление движением судна осуществляется по различным критериям. В открытом море такими критериями являются расход топлива и наименьшие потери ходового времени, для стесненных вод — точность удержания судна на заданной траектории движения.

Приборы в навигационном комплексе взаимодействуют следующим образом.

Выработанные гироазимуткомпасом и лагом курс и скорость индицируются на лицевой панели навигационного пульта и транслируются потребителям. По данным курса и скорости осуществляется счисление пройденного пути. Все необходимые начальные данные для решения задачи счисления и других задач вводятся с помощью телетайпа вычислительного комплекса. Причем ЭВМ контролирует полноту и правильность введенной команды, выдавая оператору либо подтверждение принятия команды к выполнению, либо указания о необходимости ввода дополнительной информации.

По решению штурмана задача коррекции координат судна по данным РНС и РЛС может выполняться автоматически, при этом на карте автопрокладчика отображается место, полученное в результате комплексной об-

работки информации от РНС и РЛС и контура счисления.

При плавании по линии заданного пути в информационно-вычислительный комплекс с телетайпа вводятся координаты точек поворота, ширина коридора, за который судно не должно выходить в процессе движения, и расстояние до точки поворота, при подходе к которой штурману подается сигнал о необходимости изменения курса.

Магнитный компас в навигационном комплексе используется в качестве резервного, показания его непрерывно сравниваются со значением курса от ГАК. При превышении заранее установленного предела разности курсов срабатывает сигнализация, свидетельствующая о том, что один из курсоуказателей неисправен и должен быть отключен для устранения причин возрастания его погрешностей.

В комплексе предусмотрена специальная система автоматической сигнализации, которая подает сигнал об отказе тех или иных приборов, о необходимости введения в вычислительный комплекс дополнительных данных, о выходе судна за пределы заданной полосы движения и др.

Внедрение навигационных комплексов на суда позволило повысить автоматизацию и точность судовождения, сократить число операций, выполняемых штурманом вручную, время получения обсервованных координат, что очень важно для своевременного принятия решения в условиях мореплавания.

§ 15. ЭВМ — СЕРДЦЕ НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

Стремление передать вычислительные процессы и отдельные функции управления машине возникло давно. Еще Гомер в своей „Илиаде”, рассказывая о том, что Гефест создал „золотых механических слуганок”, наделенных разумом, совершенно очевидно выражал мечту далеких предков об устройствах наподобие нынешних роботов и электронно-вычислительных машин.

История создания ЭВМ интересна и переплетена с основными этапами развития техники и электроники. До-

статочно сказать, что первые механические вычислители-калькуляторы (от японского *калькули* — бусы) появились еще в XVII в. В течение последующих столетий их непрерывно совершенствовали, используя последние достижения науки и техники. Поворотным этапом в развитии вычислительной техники считают 1945 г., когда Дж. фон Нейманом была спроектирована ЭВМ с управляющей программой, хранимой в памяти машины. Действующая модель такой ЭВМ была создана в 1949 г.

Сейчас идет интенсивная работа над созданием машин четвертого поколения. В зависимости от применяемой элементной базы ЭВМ условно делят на четыре поколения: 1) ламповые; 2) на полупроводниках; 3) на миниатюрных интегральных схемах; 4) на тонкопленочных устройствах. В настоящее время широко применяют в навигационных комплексах цифровые вычислительные машины третьего поколения. На рис. 74 показана структурная схема ЭЦВМ. Она содержит следующие основные устройства:

арифметическое *АУ*, осуществляющее арифметические и логические операции;

запоминающее *ЗУ*, предназначенное для хранения чисел, необходимых для решения задач и программ;

управления *УУ*, выполняющее функции управления, обеспечивающего выполнение программы;

ввода *УВв*, осуществляющее ввод в машину исходных данных и программ решения задач;

вывода *УВыв*, выполняющее вывод полученных результатов решения на печатающее устройство, визуальную индикацию или на блок автоматического управления регулирования теми же процессами;

пульт управления *ПУ*, обеспечивающий взаимодействие оператора с ЭЦВМ.

Запоминающие устройства применительно к ЭЦВМ подразделяют на оперативное запоминающее устройство *ОЗУ* и постоянное запоминающее устройство *ПЗУ*.

Оперативное запоминающее устройство предназначено для хранения вводимых в машину исходных данных и промежуточных результатов решения.

Постоянное запоминающее устройство служит для хранения программ решения задач и констант, т. е. содержание его остается неизменным. Программы и константы в навигационной ЭЦВМ записываются на весь период ее службы. Для решения некоторых навигационных задач

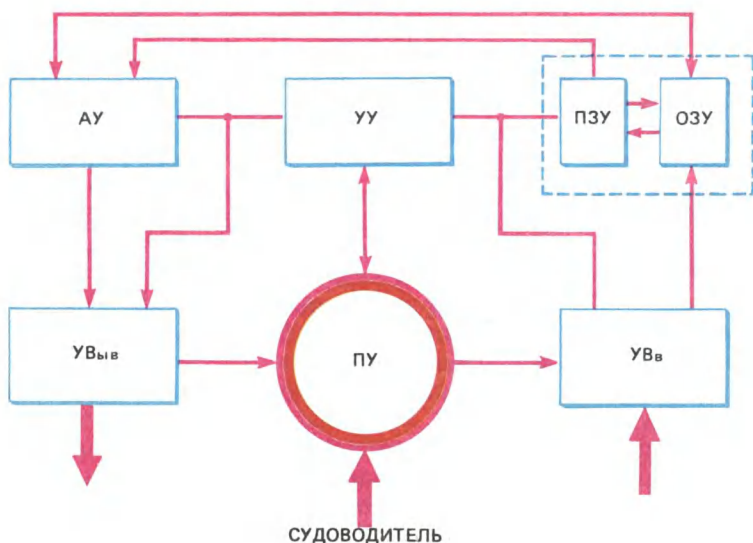


Рис. 74. Структурная схема ЭЦВМ

отдельные данные необходимо хранить только определенный период, например координаты радиомаяков по маршруту плавания. Эти данные заранее записываются на перфокарты или магнитные ленты и вводятся в ЭЦВМ непосредственно перед решением задачи.

Арифметическое устройство предназначено для обработки данных по заданной программе и выполняет следующие действия: сложение, логическое сложение, умножение, логическое умножение и другие операции.

Устройства ввода и вывода информации обеспечивают ввод исходной информации и вывод результатов решения в виде, пригодном для дальнейшего использования. Вводимая в ЭЦВМ информация может быть как дискретной (цифровой), так и аналоговой. ЭЦВМ оперирует с цифровой информацией, представленной в подавляющем большинстве случаев в двоичном коде. Дискретная информация вводится и обозначается в ЭЦВМ непосредственно в знаковом виде, а аналоговую информацию необходимо преобразовывать, так как она может быть представлена различными физическими сигналами, например, напряжением.

В настоящее время используют следующие устройства ввода и вывода информации в зависимости от их назначения: перфоленточные и перфокарточные; алфавитно-цифровые печатающие устройства; машинка пишущая для ввода и вывода; устройства ввода и вывода графической информации; дисплейное устройство ввода и вывода цифровой и графической информации и др.

В навигационных ЭЦВМ широко используют алфавитно-цифровые печатающие и дисплейные устройства.

Устройства управления предназначены для осуществления автоматического управления работой всех устройств ЭЦВМ согласно командам программы и выполняют следующие основные действия:

- управляют автоматическим вводом и выводом данных из ЭЦВМ;

- синхронизируют работу машины;

- осуществляют поступление из ЗУ команд программ в заданной последовательности;

- управляют передачей информации в ЭЦВМ;

- управляют выполнением операций в арифметическом устройстве и т. д.

Все устройства ЭЦВМ соединены между собой каналами, по которым осуществляется передача сигналов.

Работа ЭЦВМ при решении задач заключается в следующем (см. рис. 74). По сигналу из УУ и ОЗУ вводятся исходные данные через УВв. Сигнал с ПУ о начале решения задачи обеспечивает обращение в ПЗУ к первой команде ее программы. УУ обеспечивает перепись команды из ПЗУ в УУ, ее дешифрацию и исполнение. Затем УУ формирует адрес следующей команды. Эта последовательность действий сохраняется, пока не будут реализованы все команды программы.

Порядок разработки программ для решения задач на ЭЦВМ заключается в следующем. Прежде всего формируется решаемая задача и находится ее математическое описание, выбираются математические методы, позволяющие получить необходимую точность вычислений. Затем составляется алгоритм решения задачи. Под алгоритмом понимается упорядоченная последовательность арифметических или логических операций, позволяющих преобразовать исходные данные в конечный результат. И, наконец, разрабатывается программа решения задачи на ЭЦВМ, т. е. записывается алгоритм в форме, позволяющей осуществлять ввод программ в ЭЦВМ.

Большие вычислительные возможности ЭВМ позволяют реализовать сложные алгоритмы управления и оптимизацию. Навигационные ЭЦВМ современных навигационных комплексов за счет оптимальной обработки измеряемой навигационной информации, использующей методы сглаживания, селектирования и динамической оптимальной фильтрации, обеспечивают получение наилучших оценок выходных навигационных параметров — координат места судна и др.

Существующие в настоящее время навигационные ЭЦВМ, предназначенные для работы в автоматизированных комплексах, имеют заранее составленные и жестко записанные в их постоянную память программы решения задач. Решение дополнительных задач путем записи программы с пульта не предусмотрено.

Примером широкого использования вычислительной техники для автоматизации решения задач навигации может служить система комплексной автоматизации судовождения „Бирюза”. Обработка навигационной информации в ней осуществляется с помощью двухпроцессорной вычислительной системы в информационно-управляющем модуле „Бирюза-ИУ”.

На первый процессор возложено решение задач ввода и преобразования данных. К первичной обработке данных относятся и задачи по обеспечению работы приемоиндикаторов различных навигационных систем, по повышению точности и надежности измеряемых навигационных параметров, например, путем исключения грубых погрешностей измерения. Второй процессор осуществляет решение задач по вторичной обработке данных по заявкам первого процессора и отображение результатов расчетов. Вторичная обработка навигационной информации включает вычисление координат места судна путем совместной обработки различной навигационной информации. При неисправности любого процессора система переходит в режим работы с другим. Это обеспечивает надежность системы в целом.

ЭВМ комплекса обеспечивает своевременное отображение данных в форме, удобной для восприятия штурманом всей необходимой информации по решению задач судовождения и исключающей возможность ошибок с его стороны, и документирование данных для последующего восстановления всех обстоятельств плавания. В последние годы в некоторых странах мира в составе



Рис. 75. Структурная схема системы автоматизации судовождения с централизованным управлением

комплексов судовождения появились цветные дисплеи — электронные видеопрокладчики, на экране которых на фоне электронной навигационной карты отображается маршрут судна, его курс, скорость и другая навигационная информация. При необходимости штурман может изменять масштаб изображения и вызывать на экран необходимые для работы сведения, вводя управляющие команды в ЭВМ. *Дисплей* — показывающее электронное устройство (от англ. *display* — показ, выставка, проявление, выделение). Штурман управляет ЭВМ и решением навигационных задач с пульта навигационного комплекса. Решение задач может осуществляться автоматическим и ручным вводом данных.

В морском приборостроении развиваются два основных направления построения перспективных систем автоматизации судовождения — централизованное управление с использованием единой многофункциональной ЭЦВМ и децентрализованное — с применением микропроцессоров (МП). Они представляют собой устройства, выполненные на основе больших интегральных схем (БИС), и обладающие способностью программным способом обрабатывать информацию, включая ввод и вывод информации, принятие решений, арифметические и логические операции.



Рис. 76. Структурная схема системы автоматизации судовождения с децентрализованным управлением

МикроЭВМ (микропроцессорная электронная вычислительная машина) — это вычислительная система, выполненная на основе МП, в состав которой входят устройства памяти, ввода-вывода и др.

На рис. 75 приведена структурная схема системы автоматизации судовождения и навигации централизованного управления с использованием одной многофункциональной ЭЦВМ. В ее состав входят датчики навигационной информации, центральный пульт управления *ЦПУ*, *путе-прокладчик*, *авторулевой*, *САРП* и т. д. На многофункциональную ЭЦВМ возлагается решение основных задач навигации и судовождения (см. § 14).

Многофункциональная ЭЦВМ обеспечивает возможность решения всех задач с заданной точностью в режиме разделения времени, имеет большой объем оперативной и постоянной памяти. Однако сосредоточение всех задач в одной вычислительной системе приводит к необходимости усложнения структуры системы и программ решения задач, что приводит к снижению ее надежности.

На рис. 76 приведена структурная схема системы автоматизации судовождения с децентрализованным управлением. Эта система также обеспечивает решение основных задач навигации и судовождения. Основным

ее преимуществом является большая надежность, малая потребляемая мощность, возможность включения дополнительных датчиков навигационной информации.

Специалисты считают, что использование ЭЦВМ в системах автоматизации судовождения позволяет сделать их более эффективными для обеспечения безопасности мореплавания за счет следующих факторов: повышения точности и надежности определения координат места судна при значительном сокращении времени вычислений; обеспечения непрерывной, точной и быстрой оценки ситуации и определения параметров движения объектов для выбора судоводителем безопасного маневра.

Можно утверждать, что дальнейшее развитие систем автоматизации судовождения будет неразрывно связано с использованием ЭЦВМ.

§ 16. РАЗМЕЩЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ НА СУДНЕ

Теперь, когда мы ознакомились с навигационными приборами и системами, обеспечивающими точное плавание и навигационную безопасность судовождения, рассмотрим, как и где они расположены на судне. От правильного размещения приборов на судне во многом зависит качество работы технических средств навигации, удобство их обслуживания и ремонта.

Выбор места установки приборов производится еще при проектировании судна. При этом учитываются следующие обстоятельства:

1. Приборы, которыми пользуются во время плавания вахтенный штурман или капитан, устанавливают в штурманской или ходовой рубке.

2. Приборы, не требующие постоянного обслуживания, размещают в специальных помещениях.

3. Датчики первичной информации (антенны радионавигационных и космических систем, вибраторы гидроакустических средств) располагают в местах, где на них в наименьшей степени оказывают влияние различного рода помехи и наиболее благоприятны условия для выделения полезного сигнала.

4. Устройства для пеленгования небесных светил и береговых ориентиров размещают на верхней палубе в местах с наилучшим обзором окружающей обстановки.

5. Расстояния между различными приборами выбирают возможно меньшие, чтобы сократить длины соединительных кабелей. При этом кабели прокладывают так, чтобы исключить влияние друг на друга проходящих по ним сигналов.

Отдельные технические средства навигации требуется размещать в особых условиях.

Рассмотрим некоторые из них.

Магнитные компасы. На современном судне размещают, как правило, два-три магнитных компаса: *главный*, по которому прокладывают курс и на котором устанавливают пеленгатор для определения места судна и поправки курса по пеленгам, и *путевой*, располагаемый в ходовой рубке.

На многих судах кроме главного и путевого устанавливают еще и *аварийный* компас, или *кормовой*. По нему ведут судно в случае перехода на ручное управление рулем.

Компас, особенно главный, должен быть установлен в диаметральной плоскости судна или вблизи нее и параллельно ей, т. е. в месте с симметричным эффектом воздействия магнитных материалов. Поблизости не должно быть подвижных железных и стальных масс, периодически включаемых электромашин, электромагистралей, теплоустановок и т. п. Для уменьшения влияния на магнитный чувствительный элемент ускорений, возникающих при качке, компас размещают ближе к центру качания судна.

Для обеспечения возможности пеленгования береговых ориентиров и небесных светил главный компас устанавливают чаще на верхнем мостике в таком месте, с которого можно производить наблюдения по всему горизонту, т. е. компас не должен иметь закрытых, или, как их называют, мертвых углов обзора либо они должны быть малы.

Гирокомпасы. При размещении гирокомпасов учитывают, что на их работу наибольшее влияние оказывают ускорения, возникающие при маневрировании и качке, а также большие колебания температуры и влажности окружающего воздуха. Кроме того, на работу гирокомпаса могут влиять и сильные судовые магнитные поля. Поэтому место для установки основного прибора гирокомпаса выбирают с учетом обеспечения необходимых динамических и магнитных условий, соответствующего

температурного режима и влажности, а также наибольшего удобства для обслуживания приборов.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации приборы гирокомпаса делят на две группы: 1) устанавливаемые в открытых местах верхней палубы и мостике и 2) устанавливаемые в закрытых помещениях. К первой группе относятся пелорусы с репитерами, на которых размещают пеленгаторы; ко второй — основной прибор, путевые репитеры, приборы питания, управления, контроля. Место установки основного прибора выбирают там, где инерционные силы, возникающие при маневрировании и качке судна, будут наименьшими, т. е. ближе к центру качания судна. Вблизи этого места и оборудуют специальное помещение — гиропост, в котором размещены основные приборы. Приборы, устанавливаемые в закрытых помещениях судна, рассчитаны на работу при температуре окружающего воздуха $5-40^{\circ}\text{C}$ и влажности, не превышающей $95\pm 3\%$.

Пелорусы устанавливают на крыльях ходового мостика с таким расчетом, чтобы обеспечить возможность пеленгования и взятия курсовых углов. Места для установки пелорусов должны быть по возможности защищены от брызг и сильного ветра.

Относительные лаги. При выборе места установки приборов лага на судне в первую очередь обращают внимание на размещение его забортных устройств — приемной трубки гидродинамического лага или ИППС индукционного лага. Обычно выбор места установки забортных устройств начинается с модельных испытаний судна, позволяющих выявить распределение гидродинамического давления по его подводной поверхности. Предпочтение отдается тем местам днища, в которых распределение гидродинамического давления наиболее равномерное. Расположение забортных устройств в этих местах обеспечит стабильную работу лага. Поскольку на корпусе судна имеются выступающие за его обводы конструкции, водозаборные и отливные устройства, оказывающие влияние на гидродинамические характеристики обтекающего корпус судна потока, забортное устройство лага располагают перед ними или возможно дальше от них. Для уменьшения влияния на работу лага качки забортное устройство размещают вблизи диаметральной плоскости судна и возможно ближе к его центрам качания и поворотливости.

Приемные трубки гидродинамических лагов и ИППС индукционных лагов устанавливают в специально оборудованных, герметически закрывающихся помещениях — шахтах лага. В рабочем положении приемная трубка через специальный клинкет „выстреливается” (выдвигается) из корпуса на расстояние до 1 м в зависимости от типа и размеров судна. При замене трубки ее вытаскивают в шахту лага, а отверстие закрывают задвижкой клинкета.

Остальные приборы лага располагают в гиропосту, а индикаторы скорости и пройденного расстояния — на ходовом мостике и в штурманской рубке. При их размещении основным ограничивающим фактором являются допустимые длины кабелей между приборами.

Гидроакустические лаги и эхолоты. Наиболее жесткие требования предъявляют к размещению на судне акустических антенн. Это обусловлено тем, что отраженный от дна принимаемый сигнал во много раз слабее излучаемого. И этот слабый сигнал необходимо выделить на фоне многочисленных гидроакустических шумов, усилить и затем уже направить в вычислительное устройство.

Откуда берутся многочисленные гидроакустические шумы-помехи, если на излучение работает только гидроакустический лаг или эхолот?

Их природа достаточно разнообразна. Основными источниками гидроакустических помех являются машины и механизмы, гребные винты, турбулентный слой воды вокруг корпуса судна и другие, создающие механические колебания водной среды, которые также принимаются антеннами гидроакустических лагов и эхолотов.

На рис. 77 изображены траектории, по которым шум, генерируемый винтом и двигательной установкой внутри судна, может достичь антенны гидроакустического лага и эхолотов. Траектория *А* — путь, лежащий целиком в корпусе, по которому вибрация от работающих машин, механизмов и двигателей достигает района размещения акустической антенны. Траектория *В* проходит в воде, и звуковые колебания распространяются непосредственно от винтов судна к антенне эхолота. По траектории *С* к антенне поступают колебания от винтов через объемные рассеиватели (микроорганизмы). И, наконец, траектория *Д* представляет собой путь, по которому звуковые колебания, отраженные дном, могут достичь места установки антенны.

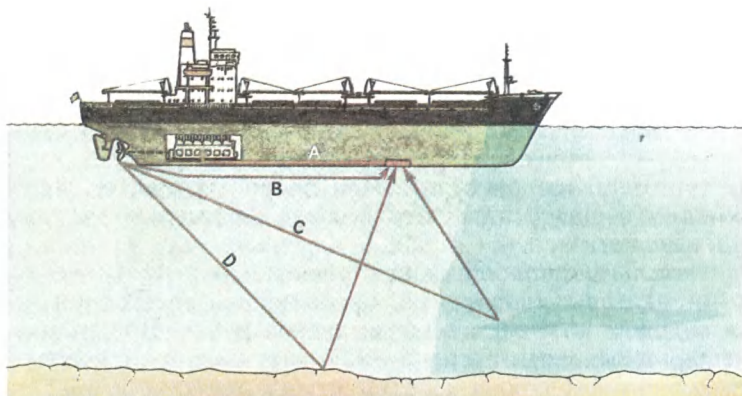


Рис. 77 Траектории распространения собственных шумов судна

Источником гидродинамического шума является также нерегулярный флуктуирующий поток жидкости, обтекающий движущееся судно. Гидродинамический шум значительно возрастает с увеличением скорости.

Счетно-решающие приборы, не требующие постоянного обслуживания, устанавливают, как правило, в гиропосту судна; пульты управления, самописцы, индикаторные приборы — в штурманской и ходовой рубках, т. е. в местах, удобных для работы с ними вахтенного штурмана. Выносные индикаторы могут быть размещены на крыльях мостика для обеспечения швартовки судна при прохождении каналов и узкостей.

Радионавигационные и радиолокационные системы. Антенные устройства радионавигационных и радиолокационных устройств располагают как можно выше, над всеми судовыми надстройками, поскольку металлические конструкции судна представляют собой экран для радиоизлучения и создают значительные помехи при приеме и излучении радиосигналов.

Приемоиндикаторы РНС устанавливают в штурманской рубке, в месте, удобном для работы с ними судоводителю. Индикатор РЛС размещают в ходовой рубке, так как основным его пользователем является капитан или вахтенный штурман, следящий за окружающей обстановкой. Такое местоположение удобно и тем, что можно оперативно передавать команду рулевому или вахтен-

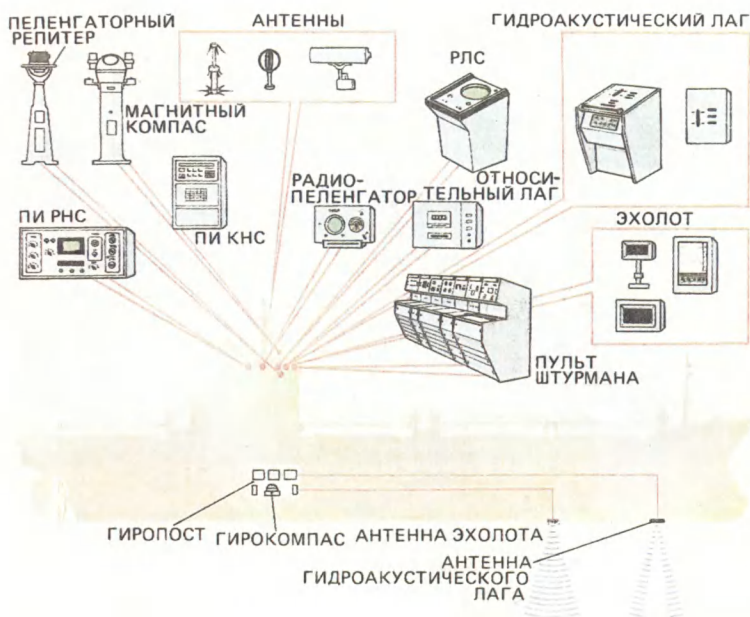


Рис. 78. Размещение навигационных приборов на крупнотоннажном судне

ному механику на изменение курса судна, скорости, режима работы двигателей. Остальные приборы (усилители, приемники, системы питания и т. д.) можно разместить практически в любых помещениях.

Пример расположения основных навигационных приборов и систем на крупнотоннажном танкере показан на рис. 78.

§ 17. ШТУРМАНСКАЯ РУБКА — РАБОЧЕЕ МЕСТО ИНЖЕНЕРА-ШТУРМАНА

Когда судно находится в плавании, то для обеспечения безопасного и точного следования его намеченным маршрутом днем и ночью непрерывно несется штурманская вахта. Вахта является особым видом выполнения служебных обязанностей. Она требует повышенного внимания и тщательного наблюде-

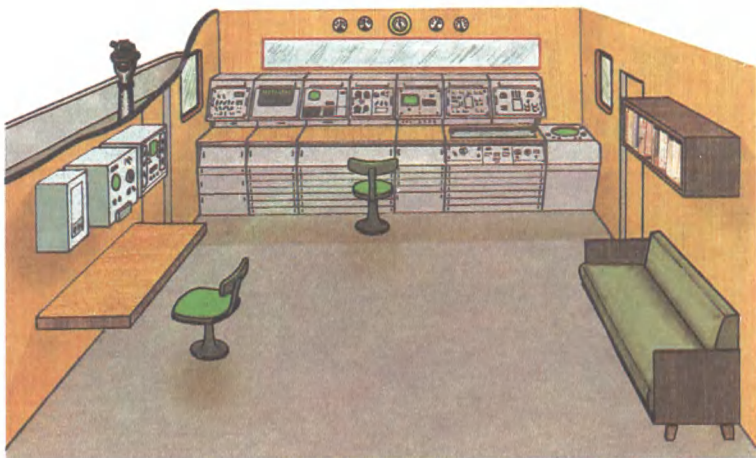


Рис. 79. Схема компоновки оборудования в штурманской рубке

ния за окружающей обстановкой. Продолжительность одной вахты — четыре часа. Четырехчасовые вахты были установлены великим английским мореплавателем Джеймсом Куком и с тех пор стали морской традицией всех стран мира. Рулевая и штурманская рубки расположены в смежных или одном помещении в надстройке на верхней палубе, исходя из требований обеспечения максимального обзора по горизонту и минимальных зон невидимости (т. е. непросматриваемые из рубки пространства) перед носом и за кормой судна.

В штурманской рубке сосредоточены основные навигационные приборы и мореходные инструменты, необходимые для деятельности штурмана. Сюда поступает вся информация о работе навигационных приборов и других технических средств, требуемая для решения задач судовождения, в ней ведутся расчеты, обеспечивающие безопасность плавания. Штурманская рубка, как правило, имеет сообщение с рулевой рубкой и коридором для кратчайшего прохода штурмана от штурманского стола (планшета, автопрокладчика) к пелорусам на крыльях мостика и обратно для быстрого пеленгования береговых ориентиров, маяков, знаков и нанесения взятых пеленгов на карту. Размеры штурманских рубок довольно стабильны: ширина 5—7 м, длина 3—4,5 м.

Приемная схема компоновки оборудования штурманской рубки на современных судах, оснащенных автоматизированными навигационными комплексами, показана на рис. 79.

Основным элементом рабочего места вахтенного штурмана является пульт навигационного комплекса, с которого осуществляется управление различными техническими средствами навигации, совместная обработка навигационной информации от различных навигационных датчиков и контроль за точностью и безопасностью следования судна намеченным маршрутом.

Кроме центрального пульта навигационного комплекса в штурманской рубке размещают:

- на носовой переборке над пультом: тахометры — индикаторы оборотов машин, морские часы, указатель положения руля;

- на боковых переборках: курсограф, эхолот, приемоиндикаторы РНС, не вошедшие в состав НК;

- столы (шкафы) для хранения хронометров, штурманских приборов и инструментов, приборов для гидрометеонаблюдений;

- специальные столы (полки) для хранения судовой коллекции карт и пособий для плавания.

Внешний вид пульта навигационного комплекса „Бирюза” показан на рис. 80. Он включает следующие секции:

- „Бирюза-ИУ” — для управления и решения задач навигации (по данным датчиков навигационной информации), судовождения (совместно с комплексом „Бирюза-С”) и регистрации (совместно с комплексом „Бирюза-Р”);

- „Бирюза-СН-1” — для определения места судна по сигналам спутниковой системы „Транзит”;

- ПИ „Шхуна”, — для определения места по ССН;

- приемоиндикаторы различных РНС, обеспечивающих определение места судна;

- комплекс автоматической прокладки, обеспечивающий автоматическую прокладку пути судна на морских навигационных картах.

Справа от пульта управления навигационным комплексом (см. рис. 79) установлен индикатор системы автоматизированной радиолокационной прокладки „Бриз-Е” для решения задачи предупреждения столкновения судов.

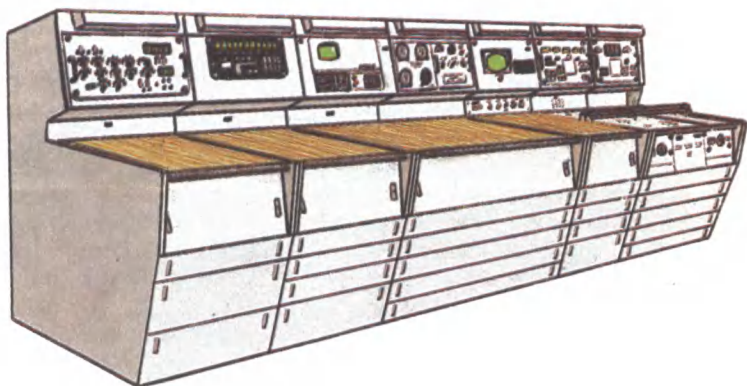


Рис. 80. Внешний вид пульта навигационного комплекса „Бирюза”

Для автоматизированного документирования навигационной и общесудовой информации в штурманской рубке может быть установлен также комплекс регистрации „Бирюза-Р”.

На судах, не оснащенных навигационным комплексом, основным элементом штурманской рубки является прокладочный штурманский стол для работы с морскими навигационными картами. Его устанавливают у носовой переборки. Над штурманским столом размещают различные навигационные приборы, необходимые для работы штурмана по счислению пути судна и контроля местоположения судна. В число этих приборов входят: репитер гирокомпаса, репитер лага, указатель эхолота, автопрокладчик для автоматической прокладки на навигационной карте пройденного судном пути, курсограф для непрерывной регистрации на ленте курса, морские часы. Отдельно устанавливают индикатор навигационной радиолокационной станции, в большинстве случаев рядом со штурманским столом.

Работа вахтенного штурмана в рейсе строго регламентирована специальными правилами — „Наставлением по организации штурманской службы на судах ММФ”. Штурман является непосредственным помощником капитана судна по вопросам навигации и несет ответственность за точность следования назначенным маршрутом и безопасность плавания. Он ведет навигационную про-

кладку. *Навигационная прокладка* — это графическое изображение маршрута, выполненное автоматически или вручную на основе измерений и вычислений. Навигационная прокладка включает счисление пути судна, расчеты и графические построения для определения места судна и расчеты маневрирования для расхождения с другими судами.

Рейс судна начинается с момента отхода его от причала или съёмки с якоря. С этого момента штурман начинает непрерывно вести навигационную прокладку. Выход из порта или отход от места якорной стоянки на чистую воду осуществляется по планам или подробным морским навигационным картам масштаба от 1:25 000 до 1:50 000. В окружающей обстановке ориентируются визуально, внимательно следят за плавучими знаками — буйами, вехами и другими, ограждающими навигационные опасности, и уточняют место по пеленгам на береговые ориентиры и с помощью РЛС. Глубина под килем периодически контролируется по эхолоту. Этот этап плавания даже в условиях хорошей видимости наиболее сложный для судоводителя.

В открытом море навигационная прокладка ведется на путевых морских навигационных картах масштаба 1:50 000 и мельче.

Счисление пути судна осуществляется графическим (ручным) способом посредством прокладочных инструментов или автоматически с использованием автопрокладчика. При ведении счисления учитываются поправки систем курсоуказания, лага, а также влияние дрейфа и течения на направление и скорость движения судна. Счислимые координаты судна определяются графическим путем по курсу, скорости и времени между двумя точками маршрута и отмечаются на проложенной линии пути судна черточкой. При отсутствии влияния течения и дрейфа на судно линия пути совпадает с направлением диаметральной плоскости судна и на карте изображается как линия истинного курса. У счислимых точек записывают судовое время и показания лага.

При ведении навигационной прокладки местоположение судна определяется систематически с помощью различных навигационных приборов и мореходных инструментов. Частота коррекции места судна устанавливается капитаном в зависимости от обстоятельств и условий плавания. При этом место судна должно определяться наи-

более точным способом, например, по визуальным пеленгам на береговые маяки при плавании вблизи берегов, при подходе к навигационным опасностям, при ухудшении видимости и т. д. Определенные штурманом координаты места судна анализируются капитаном и принимаются за исходные для дальнейшего счисления. Об этом в судовом журнале делается соответствующая запись и впоследствии счисление ведется от обсервованной точки. И опять продолжается ответственная и кропотливая работа штурмана. От утвержденных капитаном координат судна штурман прокладывает на карте заданный курс. Теперь точность счисления координат судна полностью зависит от квалификации штурмана, от точности работы технических средств навигации, и в первую очередь от лага и компаса. С помощью навигационных карт, лоций, пособий штурман внимательно изучает район плавания, определяет и отмечает на карте наиболее опасные в навигационном отношении районы.

Автопрокладчик вычерчивает на навигационной карте пройденный путь с высокой точностью, но, к сожалению, он не в состоянии учитывать влияние различных гидрометеорологических условий на работу технических средств навигации: течений, качки, ветра и др. Неучет этих условий приведет к расхождению счислимых координат судна, отображаемых на навигационной карте автопрокладчика, с фактическим местоположением. Если это расхождение координат произошло в открытом море, вне районов, опасных в навигационном отношении, то его следует скорректировать при очередном определении места судна радионавигационным или астрономическим методом. При плавании вблизи берегов и навигационных опасностей подобные расхождения координат могут привести к аварийной ситуации: посадке на мель, столкновению и т. д. Чтобы этого не произошло, штурман обязан систематически анализировать условия плавания, точность работ технических средств навигации и возможность использования различных приемоиндикаторов для определения места судна.

Особенно трудна и напряженна работа штурмана по обеспечению навигационной безопасности плавания судна вблизи берегов. Как правило, все современные суда достаточно хорошо оснащены техническими средствами навигации, и задача штурмана заключается в их грамотном и оптимальном использовании. Например, при визу-

альном наблюдении береговых навигационных ориентиров (маяков, светящихся знаков и т. д.) штурман определяет координаты судна, пеленгуя эти ориентиры и прокладывая пеленги на навигационной карте. Систематическое определение координат судна дает возможность выявить погрешность работы навигационных приборов — лага и компаса, уточнить их поправки и повысить тем самым точность счисления.

Незаменимым помощником штурмана является эхолот. Глубина под килем судна — один из важнейших параметров, обеспечивающих безопасность плавания. Если измеряемая глубина резко расходится с глубиной, обозначенной на карте в счислимом месте судна, штурман немедленно докладывает об этом капитану и использует все возможные средства для уточнения координат судна. При плавании судна в районах с интенсивным судоходством штурман обязан не только определять его координаты и выдавать капитану рекомендации по выбору безопасного курса и оптимальной скорости, но и следить за маневрированием встречных судов, определяя их курс и скорость. Используя систему автоматической радиолокационной прокладки, штурман определяет наиболее „опасные” суда, рассчитывает курс и скорость своего судна для расхождения с „опасными” судами и сообщает эти данные капитану.

Постоянное внимание, анализ окружающей обстановки, оценка навигационной безопасности плавания, работа с техническими средствами навигации — основная обязанность вахтенного штурмана.

Заступая на вахту, штурман прибывает на мостик, знакомится с картой района плавания, расположением ориентиров, расстоянием до берега, рельефом дна, глубинами, навигационными опасностями и их ограждением, состоянием и прогнозом погоды в районе плавания, сликает курс судна и обстановку на навигационной карте с действительными, т. е. заданными. Проверяет, исправно ли работают технические средства навигации: гирокомпас, лаг и др. Во время вахты штурман периодически определяет место судна, используя различные навигационные приборы. После обработки результатов измерений координаты места судна он наносит на карту. Систематически анализируя поступающую информацию, штурман обеспечивает безопасность плавания и своевременное прибытие судна в порт назначения.

§ 18. БУДУЩЕЕ В АВТОМАТИЗАЦИИ

Всего каких-нибудь 100 лет назад плавание судов в океане было сопряжено с большим риском и опасностями. Да в то время и не могло быть иначе. Ведь все навигационное оснащение судов состояло из магнитного компаса, вертушечного лага и хронометра, с особенностями работы которых мореплаватели не всегда были хорошо знакомы. Отправляясь в длительные плавания, моряки чаще полагались на удачу и благосклонность бога морей Нептуна, чем на свои знания и умение.

Теперь безопасность плавания морских судов находится в руках высококвалифицированных специалистов, имеющих в своем распоряжении превосходную технику, обеспечивающую точность и безопасность плавания в любых условиях и районах Мирового океана.

Тем не менее, скажет читатель, катастрофы на море еще случаются. Да, к сожалению, это так. Но причиной тому бывают не только и не столько ошибки в определении места или курса судна, сколько в оценке ситуации и правильности принятия решения.

Около 85 % происшествий на море вызваны ошибками человека. Происходит это чаще всего из-за стрессового состояния в сложных ситуациях и плохого, несоординированного, т. е. неоптимального использования информации, получаемой от навигационного оборудования.

В наше время наиболее сложные ситуации возникают не в открытом океане, вдали от берегов, а в районах ограниченного маневрирования, в узкостях, проливах, на подходах к портам, где свободному мореплаванию мешает не только близость берегов, но и скопление большого числа судов. За последние 8—10 лет напряженность судоходства возросла настолько, что опасность столкновения увеличилась вдвое.

В начале 80-х гг. в мире насчитывалось более 65 тыс. морских судов. На важнейших судоходных путях, в особенности в проливах, создается настоящая толчея. Например, пролив Ла-Манш ежедневно пересекают в западном или восточном направлении более тысячи судов, а Гибралтарский — более 400.

В дальнейшем напряженность судоходства будет непрерывно возрастать. Общее число судов, одновремен-

но находящихся в море, не считая яхт, прогулочных катеров, рыболовецких шхун и других малотоннажных плавучих средств, число которых исчисляется миллионами, уже в ближайшем будущем превысит 70—80 тыс. При этом возрастут их водоизмещение и скорости. На океанских дорогах появятся быстроходные суда с динамическими принципами поддержания — суда на воздушной подушке, на подводных крыльях и экранопланы.

Штурман, в особенности при подходах к портам, должен будет следить не только за координатами своего судна, его параметрами движения, курсом, глубиной под килем, но и за окружающими судами, прогнозировать развитие ситуации и все это в обстановке, динамика изменений которой значительно возрастет.

В этих условиях еще более проблематичными станут способности человека-оператора, в особенности в аварийных ситуациях, быстро обрабатывать всю поступающую к нему информацию и выполнять необходимые расчеты. Ведь возможности любого оператора ограничены информационным барьером, переход которого неизбежно повлечет за собой ошибки и просчеты.

Отсюда очевиден вывод: дальнейший прогресс судождения будет заключаться прежде всего в автоматизации. Цель ее — освободить мореплавателя от промежуточных расчетных и управляющих операций, передать их вычислительной машине и снабдить его такой обобщенной и удобной для восприятия информацией, которая позволила бы быстро принимать безошибочное решение.

Какие функции можно передать машине дополнительно к тем задачам, которые уже решаются в ЭВМ современных навигационных комплексов?

Прежде всего, выбор пути судна. „Проигрывая” по введенным в нее данным самые различные варианты, ЭВМ должна найти наивыгоднейший маршрут с учетом не только районов плавания, но и условий погоды.

В процессе плавания от соответствующих датчиков в ЭВМ будет поступать вся текущая информация об окружающей обстановке, в том числе о метеоусловиях и их прогнозе, и корректироваться выбранный маршрут.

Навигационный комплекс станет составной частью единой автоматизированной системы управления судном, и выработанные им рекомендации об изменении курса или скорости будут автоматически отрабатываться соответствующими исполнительными механизмами.

Полностью автоматизированное судно уже не фантазия, а близкая реальность. Предполагается, что в недалеком будущем океаны и моря будут пересекать флотилии автоматизированных судов. В этом случае на ведущем судне, оборудованном автоматизированным навигационным комплексом, будет находиться экипаж, управляющий флотилией безэкипажных автоматизированных судов, на которых будут размещены приемные устройства, системы обработки и передачи информации и исполнительные механизмы.

При подходе к портам, где напряженность судоходства резко возрастает, на помощь судоводителю придет береговое навигационное оборудование в виде автоматизированной системы управления судами, которая, будучи связана телеметрическими каналами с бортовым оборудованием, точно приведет судно к нужному причалу. Создание таких высокоавтоматизированных систем навигации станет возможным благодаря широкому применению новейших достижений науки и техники.

Развитие гидроакустики поможет создать совершенные системы освещения подводной обстановки и исключить возможность посадки судна на подводные камни и рифы. Совершенствование радиолокации будет способствовать расширению дальности ее действия в целях обеспечения загоризонтной радиолокации, т. е. освещения обстановки за пределами прямой радиолокационной видимости.

Мирный космос даст возможность запустить в небо необходимое количество спутников, способных обеспечить навигацию судов непрерывной, точной и разнообразной навигационной информацией.

Для передачи навигационных данных в различные посты судна будут широко использоваться волоконно-оптические световоды, основанные на применении стеклянного волокна, световедущая жила которого (сердцевина) окружена стеклом-оболочкой из другого стекла с меньшим показателем преломления. Такие волоконно-оптические кабели будут применять как для передачи на расстояние непосредственно изображения, так и закодированных различным образом сигналов. Достоинствами волоконной связи являются помехозащищенность, малая масса линий передачи и высокая надежность.

Достойное место в радиоэлектронном вооружении судна займут лазерная и телевизионная техника. С ее по-

мощью суда легко и быстро будут швартоваться у назначенного причала.

Современные разработки в области микроэлектронной технологии позволили реализовать в одном кристалле кремния размером 5 мм² более полумиллиона электронных компонентов и обеспечили создание микропроцессоров. Применение микропроцессоров в технических средствах навигации существенно повышает уровень их автоматизации, точность измерения параметров, позволяет производить первичную обработку измерений, передавать ее в ЭВМ навигационного комплекса для последующей обработки и индикации необходимой штурману информации. Кроме того, использование микропроцессоров в навигационных приборах позволяет создавать системы с аппаратурной избыточностью, т. е. объединять приборы одного назначения в единую систему, значительно повышающую надежность получения информации. Например, на основе микропроцессоров несколько курсоуказателей объединены в одну систему, обеспечивающую информацией навигационный комплекс. При отказе одного курсоуказателя система автоматически отключает его из обработки и подключает исправный курсоуказатель, продолжая выдавать информацию о курсе в навигационный комплекс.

Дальнейшее развитие микропроцессоров, вычислительной техники обеспечит создание судовых малогабаритных электронно-вычислительных машин с большим объемом памяти, предназначенных для полной автоматизации судовождения, решения навигационных задач, хранения цифровой навигационно-гидрографической информации, достаточной для плавания в любых районах Мирового океана.

Цифровая навигационно-гидрографическая информация обеспечит по требованию штурмана формирование электронной карты района плавания в необходимом масштабе, которая будет отображаться на экране цветного дисплея навигационного комплекса.

Применение электронной карты избавит штурмана от трудоемкой работы, связанной с ведением графической прокладки, подбором и сменой необходимых навигационных карт по маршруту плавания, нанесения обсервованных координат места судна, выполнения графических построений при расхождении со встречными судами и т. п.

Основным достоинством электронной карты является оперативная возможность выводить на экран любую навигационно-гидрографическую информацию как по маршруту плавания, так и в любом интересующем штурмана районе плавания. Информация может представляться в виде карты района плавания и текстового материала из руководств, лоций и других пособий для мореплавания. Использование электронной карты автоматически исключит возможные ошибки судоводителей при переносе места судна с карты на карту, опознавании ориентиров при плавании вблизи берега, при изменении курса по маршруту плавания и т. п.

Другим не менее важным и способствующим безопасности судовождения свойством электронной карты является возможность получения интегральной картины навигационной обстановки за счет совмещения на экране информации от различных источников.

Наличие такого интегрального представления информации позволит вахтенному штурману постоянно без каких-либо специальных расчетов оценивать навигационную безопасность плавания и прогнозировать развитие навигационной ситуации.

Для представления обобщенной информации широкое применение найдут трехмерные многоцветные экраны на жидких кристаллах, обеспечивающие связь с другими датчиками информации и оборудованием ходового мостика. На таких дисплеях с высокой разрешающей способностью будет высвечиваться отображение электронной карты, позволяющей индицировать место своего судна, намеченный путь, точки поворота, зоны опасности и навигационные знаки, совмещенное изображение радиолокационной станции и карты, благодаря чему можно в удобной форме представить место на карте не только своего судна, но и перемещение встречных и других судов, а также характеристики работы навигационных знаков и маяков.

Изменяя масштаб, можно оценить ближнюю окружающую обстановку и перспективную, а также высветить наиболее важную в данной ситуации картографическую информацию. Буквенно-цифровое изображение рядом с экраном высветит курс, путевой угол, глубину под килем, расстояние и курс до следующей точки поворота и другие данные.

Дополнительно на соответствующем экране опера-

тору может быть представлен список различных режимов работы аппаратуры, из которых он с помощью светового пера может выбрать нужный.

Все рабочие операции и процедуры установки данных будут выполняться с помощью автоматической подсказки методом диалога оператора с ЭВМ. В ходовых рубках судов уже устанавливаются первые ЭВМ, управляемые голосом человека — оператора. В дальнейшем предполагается, что и результаты своей работы машина также будет сообщать синтезированным голосом. Вычислительные структуры обеспечат принятие решения судоводителем в сложной навигационной обстановке. Взаимодействие с ЭВМ станет для оператора почти таким же простым фактом, как общение людей между собой.

Применение криогенной технологии, основанной на явлениях сверхпроводимости, будет способствовать существенному повышению точности радиоэлектронных средств, поскольку криогенные элементы обладают более низким уровнем собственных шумов и, следовательно, значительно большей чувствительностью.

Надежность технических средств навигации будет обеспечиваться системой самодиагностики и самонастройки, т. е. отказы аппаратуры будут не только заранее прогнозироваться, но и автоматически предотвращаться.

Кроме того, приборы смогут подстраиваться под условия работы, т. е. отсеивать помехи, автоматически подбирать нужную мощность излучения сигналов и т. д.

Многое из того, что будет обычным в будущем, начинает внедряться уже сегодня. Однако надо иметь в виду, что вся эта сложнейшая и совершенная техника может принести пользу только в тесном взаимодействии с человеком, в союзе человек — машина.

Судоводитель, освобожденный от трудоемкой работы, будет занят анализом обстановки и выполнением сложных и интересных операций — выбором режимов движения, режимов работы навигационных систем и др. За ним останется руководящая роль и право принимать окончательные решения по управлению судном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Груздев Н. М., Колчин Г. А., Леонидов Р. Л.* Навигация — М Воениздат, 1980
- Коган В. М., Чичинадзе М. В.* Судовой гироазимуткомпас „Вега”. — М.: Транспорт, 1983
- Кондрашихин В. Т.* Определение места судна. — М.: Транспорт, 1981.
- Корякин В. И.* Современное состояние гирокомпасной техники // Морской сборник, 1981, № 11. С. 74—78.
- Лесков М. М., Баранов Ю. Б., Гаврюк И. И.* Навигация — М. Транспорт, 1986.
- Лудченко Е. Ф., Кондрашихин В. Т., Чикуров М. В.* Справочник судоводителя — Одесса: Маяк, 1983
- Навигационные системы обеспечения швартовки судов.* В. Н. Кошкарёв и др. // Судостроение за рубежом, 1977, № 11 С 56—70.
- Родионов А. И., Сазонов А. Е.* Автоматизация судовождения. — М.: Транспорт, 1983
- Современное состояние и тенденции развития магнитных компасов.* В. И. Корякин и др. // Судостроение за рубежом, 1982, № 1 С 48—62
- Судовые измерители скорости* / А. А. Хребтов, В. Н. Кошкарёв и др. — Л.: Судостроение, 1978.
- Судовые приемоиндикаторы радионавигационных систем* Омега, Лоран А/С и Десса / В. Н. Кошкарёв и др. // Судостроение за рубежом, 1980, № 12. С 35—54.
- Судовые эхолоты* / А. А. Хребтов, К. А. Виноградов, В. Н. Кошкарёв и др. — Л.: Судостроение, 1982

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. НЕБОЛЬШОЕ ПУТЕШЕСТВИЕ В СУДОВОЖДЕНИЕ	5
§ 1 Точное и безопасное плавание — задача судовождения	5
§ 2. Основные понятия из навигации	12
§ 3. Судовождение и навигационные приборы	25
2. ИЗМЕРИТЕЛИ КУРСА СУДНА И ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ	39
§ 4. Магнитный компас — древнейший навигационный прибор	39
§ 5. От волчка к гироскопическому компасу	48
§ 6 От гироскопического компаса к инерциальной навигационной системе	61
3. ИЗМЕРИТЕЛИ СКОРОСТИ И ГЛУБИНЫ	69
§ 7 Измерители относительной скорости и угла дрейфа	69
§ 8 Измерители скорости относительно дна	83
§ 9 Измерители глубины	91
4. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СУДНА	103
§ 10. Приборы для определения местоположения по радиомаякам	103
§ 11. Приборы определения местоположения по береговым радионавигационным системам	115
§ 12. Приборы определения местоположения судна по спутникам	125
§ 13 Радиолокационные приборы — глаза судна	130
5. НАВИГАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СУДОВОЖДЕНИЯ	141
§ 14 Навигационные комплексы — новая ступень в развитии технических средств навигации	141
§ 15 ЭВМ — сердце навигационного комплекса	147
§ 16. Размещение навигационных приборов на судне	154
§ 17 Штурманская рубка — рабочее место инженера-штурмана	159
§ 18 Будущее в автоматизации	166
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	172

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЕ ИЗДАНИЕ

Хребтов Альберт Александрович
Корякин Виталий Иванович
Кошкарев Василий Николаевич

КУРС В ОКЕАНЕ

Заведующий редакцией П. К. Зубарев
Редактор А. И. Голикова
Художник-оформитель А. В. Сазанов
Художественный редактор Э. А. Бубович
Технический редактор Р. К. Чистякова
Корректор Е. П. Смирнова
ИБ № 1291

Сдано в набор 17 08 87 Подписано в печать 20.03 88 М-27570.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага офсетная № 1. Гарнитура литературная
Печать офсетная Усл печ л. 9,24 Усл. кр -отт 37,28 Уч -изд. л. 9,3.
Изд. № 4175-86. Тираж 80 000 экз. Заказ 3139 Цена 60 к

Издательство „Судостроение“, 191065, Ленинград, ул Гоголя, 8

Предприятие малообъемной книги дважды ордена Трудового Красного
Знамени Ленинградского производственного объединения „Типография
им Ивана Федорова“ Союзполиграфпрома при Государственном комитете
СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 192007,
Ленинград, ул Боровая, 51

**ИЗДАТЕЛЬСТВО „СУДОСТРОЕНИЕ“
ПРЕДЛАГАЕТ
СВОИМ ЧИТАТЕЛЯМ
СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ:**

Александров М. Н. Безопасность человека на море.— Л.: Судостроение, 1983.— 20 л.— 1 р.

Автор, д-р техн. наук, профессор, известный своими публикациями в области судовых устройств, предлагаемой книгой хочет привлечь внимание инженерной общественности и специалистов к проблеме безопасности мореплавания. На конкретных примерах аварий судов выявлены основные причины их гибели: посадка на грунт, столкновения и пожары. Проанализированы причины и обстоятельства, вызвавшие гибель людей на море. Приведены сведения о предельных возможностях человеческого организма в экстремальных условиях, рассказано о способах эвакуации людей с гибнущего судна.

Книга заинтересует специалистов по проектированию и эксплуатации судовых устройств, всех, кого волнуют проблемы обеспечения безопасности на море.

183000, Мурманск, Кольский пр., 44. Магазин № 2 „Техническая книга“.

690078, Владивосток, ул. Ленинская, 43. „Приморский книготорг“.

Иванов Г. Г., Маковский А. Л. Международное частное морское право.— Л.: Судостроение, 1984.— 20 л.— 1 р. 30 к.

Авторы ставят своей задачей исследование всех существенных документов по международному частному морскому праву, а также конвенций, находящихся в стадии разработки. Центральное место занимает анализ международных соглашений, регулирующих морские перевозки, спасание на море, ответственность за загрязнение среды.

Для капитанов заграничного плавания, юристов ММФ, МВТ, МРХ, работников коммерческих и эксплуатационных служб парокходств и портов.

190031, Ленинград, Садовая ул., 40. Магазин № 2 „Судостроитель“.

**В МАГАЗИНАХ — ОПОРНЫХ
ПУНКТАХ
ИЗДАТЕЛЬСТВА «СУДОСТРОЕНИЕ»
ВЫ МОЖЕТЕ ПРИОБРЕСТИ
КНИГИ СЕРИИ
«ТЕХНИКА ОСВОЕНИЯ ОКЕАНА»:**

Лукошков А. В. Техника исследований морского дна.— Л.: Судостроение, 1984.—16 л.: ил.— 1 р. 20 к.

Дан обзор способов разведки морского дна и применяемых при этом судов и технических средств. Систематизировано большинство существующих в мире геологоразведочных установок и рассмотрены особенности технологии их использования. Главное внимание уделено вопросам проектирования установок, предназначенных для работы в Арктике.

Для инженеров-кораблестроителей, занятых проектированием средств освоения океана.

Оптико-физические средства исследования океана /
Гульков В. Н., Зайцев В. А., Кропоткин М. А. и др.—
Л.: Судостроение, 1984.— 20 л.: ил.— 3 р. 10 к.

Коллектив авторов — специалистов в области разработки радиоэлектронной аппаратуры, возглавляемый лауреатом Государственной премии СССР проф. Е. Г. Пашенко, рассматривает методы и средства оптико-физических исследований в целях изучения и освоения Мирового океана. Основное внимание уделено вопросам разработки оптико-электронной аппаратуры для дистанционного обнаружения нефтяных загрязнений.

Для специалистов, занимающихся вопросами исследования и освоения океана.

Курс в океане

Перед мореплавателем, выходящим в море, всегда вставали вопросы: где, в какой точке океана находится судно, какими курсом и скоростью следовать ему в назначенный порт, какая глубина под килем, нет ли впереди опасностей, грозящих посадкой на мель или столкновением.

Тайны мироздания, загадки звездного неба и их связь с географией Земли всегда волновали человека. Его любознательность, тяга к изучению непонятных явлений вели к новым открытиям. Одним из первых помощников человека, рискнувшего на ветхих суденышках выходить в бушующий океан, стала „путеводная звезда“ — небесное светило, по которому древние мореплаватели находили курс к родным берегам. Бежали века, тысячелетия.... Человек создал первые мореходные инструменты, измерители направления и скорости. Совершенствовались корабли — совершенствовалось и их навигационное оборудование, обеспечивающее безопасность судоходства.

Современные навигационные приборы судна — это сложнейшие электронные устройства, созданные на основе последних достижений науки и техники. С помощью навигационных приборов и систем ведет судно через просторы морей и океанов штурман — человек трудной и вместе с тем романтической профессии.