

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
имени адмирала С.О. МАКАРОВА**

КАФЕДРА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ

А.В. ЯЛОВЕНКО

МАГНИТНЫЕ КОМПАСЫ

Тексты лекций
с элементами программированного обучения
для студентов заочного обучения

Санкт-Петербург
Издательство ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
2013

УДК 629.12.053.13
Я51

Яловенко, А.В.

Я51 Магнитные компасы: тексты лекций с элементами программированного обучения для студентов заочного обучения. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2013. – 100 с.

ISBN 978-5-9509-0091-4

Соответствует программе курса «Технические средства судовождения».

Рассмотрены основные сведения о магнетизме, судовые магнитные силы, краткая теория девиации магнитных компасов и методы ее уничтожения. Особое внимание уделено точности магнитных компасов.

Предназначено для студентов заочного обучения судоводительского, радиотехнического и арктического факультетов. Может также использоваться курсантами очного обучения.

Рекомендовано к изданию на заседании кафедры технических средств судовождения. Протокол № 4 от 18 декабря 2012 года.

Рецензенты:

Орехов А.В., канд. техн. наук, руководитель программ Морского учебно-тренажерного центра ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова;

Расулов Н.Г., канд. техн. наук, технический директор ООО «Навтехника».

ISBN 978-5-9509-0091-4

© ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2013

© Яловенко А.В., 2013

Предисловие

Пособие составлено в соответствии с той частью программы дисциплины «Технические средства судовождения», которая предусматривает изучение магнитно-компасного дела. В нем рассмотрены основные сведения о магнетизме, магнитные силы, возникающие на судне, виды девиации магнитного компаса и методы ее уничтожения, а также способы повышения точности магнитного компаса. Отдельно дано описание принципа работы бесстрелочного магнитного компаса и использования магнитометра для уничтожения девиации компаса.

Весь материал разбит на отдельные лекции, объем каждой из которых соответствует двум академическим часам учебного времени. Особенностью настоящего издания является то, что оно составлено с элементами программированного обучения. Так, после материала лекции приводятся контрольные вопросы, на каждый из которых дано несколько ответов, среди них один или несколько правильные. В конце пособия приводятся комментарии к ответам, которые позволяют студенту определить, насколько правильно он ответил на тот или иной контрольный вопрос. В зависимости от правильности ответа ему даются рекомендации о дальнейших действиях. Этот прием направлен на оказание помощи при самостоятельной работе студента с предлагаемыми материалами книги.

В прил. 1 – 3 приводятся международные и национальные требования к оснащению судов магнитными компасами, а также к их точности.

ЛЕКЦИЯ 1

Введение

Принцип действия широко используемых на судах морского флота магнитных компасов основан на использовании магнитного поля Земли. В частности, чувствительный элемент компаса способен определять направление горизонтальной составляющей вектора напряженности магнитного поля Земли. В результате определяется положение плоскости магнитного меридиана, что позволяет непрерывно получать информацию о соответствующем курсе судна.

Краткая история магнитного компаса. Настоящая историческая справка написана по материалам работы [1], в которой приводится подробная история создания и развития магнитного компаса.

Среди навигационных приборов судна магнитный компас занимает особое место – он является прибором, который использовался древнейшими мореплавателями и до сих пор служит одним из основных курсоуказателей на судне. Издревле магнитный компас не только помогал мореплавателям находить дорогу в бескрайнем море, но и способствовал развитию учения о магнитном поле Земли.

Упоминание о магнитном компасе встречается на арабском востоке. Арабские мореплаватели использовали в качестве компаса магнитную иглу, которая помещалась в пластинку, плавающую в воде. В Европе магнитный компас, скорее всего, появился именно благодаря арабским мореплавателям. Однако наиболее распространенной версией считается та, что магнитный компас был изобретен более чем 3000 лет до нашей эры в Китае.

Название *компас* возникло значительно позже самого изобретения. До XV в. он назывался по-разному: у китайцев – копилка звезд, у арабов – дом иглы, у русских – матка.

Конец XV, начало XVI вв. ознаменованы появлением на судах ряда приборов, которые позволили мореплавателям совершать плавание в любое время суток, не опасаясь затеряться в бесконечных океанских просторах.

Показаниям магнитного компаса мореплаватели доверяли полностью, несмотря на то, что со временем стали замечать, что магнитная стрелка отклоняется от меридиана. В 1436 г. это явление, названное *магнитным склонением*, стали указывать на картах. Впоследствии было выявлено, что

свободно подвешенная стрелка отклоняется в вертикальной плоскости. Изучением этого явления в 1576 г. начал заниматься Р. Норман. Он изготовил прибор для измерения магнитного наклона, известный сегодня как *инclinатор*.

Значительный вклад в изучение магнитного склонения внесли известные российские мореплаватели В. Беринг, Ю.Ф. Лисянский, И.Ф. Крузенштерн и др. Мореплаватели стали замечать, что в одной и той же широте величина отклонения стрелки компаса от магнитного меридиана изменяется при перемене курса. Это явление в дальнейшем получило название *девиации*.

Первые серьезные наблюдения за изменением девиации магнитного компаса были выполнены английским мореплавателем М. Флиндерсом, который, анализируя результаты своих наблюдений, установил, что причиной изменения девиации явилось перемагничивание с изменением широты вертикальных металлических стоек (пиллерсов), поддерживающих деревянную палубу. Для уничтожения этой девиации было предложено размещать вблизи компаса вертикальные бруски железа, которые используются и в настоящее время для компенсации широтной девиации и называются *флинденсбарам*.

С развитием флота на парусных судах стали появляться различные металлические крепления. В 20-х гг. XIX в. Т. Юнг впервые все судовое железо разделил на «твердое» и «мягкое» в магнитном отношении. *Твердое* – это такое, которое сохраняет однажды приобретенный магнетизм, а *мягкое* – изменяет намагниченность под влиянием внешнего магнитного поля. Он же доказал, что твердое железо создает полукруговую девиацию, а мягкое – четвертную.

Впервые математическое описание всех явлений, связанных с девиацией, дал профессор Парижской академии наук С. Пуассон, составивший в 1829 г. уравнения, которые описывали действие на магнитную стрелку как магнитного поля Земли, так и судового железа. Эти уравнения явились основой теории девиации магнитного компаса.

С развитием строительства металлических судов изменились условия использования магнитного компаса, что привело к увеличению аварий, а также к гибели людей. В связи с этим по указанию Английского адмиралтейства в 30-е гг. XIX в. на металлических судах стали проводиться различные исследования. В этих работах активное участие принимал Дж.

Эри, который, используя уравнения Пуассона, разработал и испытал способы уничтожения полукруговой и четвертной девиаций. Так, полукруговая девиация уничтожалась с помощью продольных и поперечных магнитов, а четвертная – за счет расположения у компаса мягкого железа.

Начало отечественной школы магнитно-компасного дела было заложено офицерами российского флота И.П. Беловенцем и его учеником И.П. Колонгом. Наиболее важными вехами в деятельности И.П. Беловенца являются создание в Кронштадте девиационного полигона, решение задачи размещения магнитного компаса внутри металлической подводной лодки и организация Кронштадтской компасной обсерватории.

После смерти И.П. Беловенца обсерваторию возглавил И.П. Колонг, который в одной из первых своих работ предложил *графический метод определения величины девиации для любого магнитного курса*. Анализируя способы борьбы с девиацией, предложенные Дж. Эри и А. Смитом, И.П. Колонг пришел к выводу, что необходимо не только уничтожать девиацию, но и определять ее остаточное значение для дальнейшего учета. Работая в Морской академии, И.П. Колонг в процессе исследований особое внимание уделил вопросам измерения горизонтальных и вертикальных магнитных сил, действующих на магнитную систему компаса. Он доказал, что если научиться измерять эти силы, то можно уничтожать девиацию, не зная ее величины. Для решения этой задачи он в 1875 г. разработал прибор, который известен как *дефлектор Колонга*. Создание этого прибора позволило разработать способ уничтожения полукруговой девиации на четырех главных компасных курсах.

Сегодня безотказность магнитного компаса является его важнейшим свойством. Поэтому в соответствии с нормативными документами Международной морской организации (ИМО) магнитный компас служит главным курсоуказателем на судне, которым должны быть оснащены все морские суда.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МАГНЕТИЗМЕ

1.1. Основные характеристики магнитного поля

Магнитное поле является особым видом материи. Оно создается упорядоченным движением электронов и может быть обнаружено по его действию на тела, обладающие намагниченностью, или на проводник с током.

К величинам, которые характеризуют магнитное поле, относятся следующие.

Магнитная индукция (B) – вектор, который совпадает с направлением силы, действующей на северный полюс магнита, помещенного в магнитное поле. Величина магнитной индукции определяется выражением

$$B = \frac{F}{il \sin \alpha}, \quad (1.1)$$

где F – механическая сила, действующая на проводник с током;

i – сила тока в проводнике;

α – угол между вектором B и направлением тока i .

Сила F всегда действует перпендикулярно вектору B . На рис. 1.1 показан проводник, который расположен перпендикулярно вектору магнитной индукции B внешнего поля. В данном случае угол $\alpha = 90^\circ$ и сила F направлена перпендикулярно рисунку, т.е. на нас.

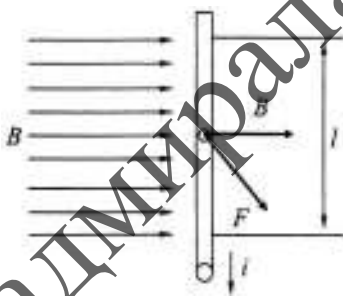


Рис. 1.1

Из выражения (1.1) можно определить размерность магнитной индукции:

$$B = \frac{\text{ньютон}}{(\text{ампер})(\text{метр})} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тесла (Тл)}.$$

Тесла – довольно крупная единица магнитной индукции. Обычно для измерения слабых магнитных полей используют мелкую единицу – **микротесла** (мкТл). $1 \text{ Тл} = 10^6 \text{ мкТл}$. Для примера можно отметить, что полный вектор магнитного поля Земли равен около 50 мкТл .

Напряженность магнитного поля (H) – это величина, которая связана с магнитной индукцией соотношением

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0}, \quad (1.2)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$);

μ – магнитная проницаемость материала. Безразмерная величина. Она показывает, во сколько раз магнитная индукция в данной среде больше, чем в вакууме. Для ферромагнитных материалов эта величина всегда больше единицы, а для некоторых веществ может достигать сотен и тысяч единиц. Для воздуха $\mu = 1$. Размерность напряженности магнитного поля можно получить из равенства (1.2):

$$H = \frac{\text{Н} \cdot \text{А}^2}{\text{А} \cdot \text{м} \cdot \text{Н}} = \frac{\text{А}}{\text{м}}.$$

Магнитный поток (Φ) – определяется выражением

$$\Phi = BS \cos \gamma, \quad (1.3)$$

где S – площадь контура, через который проходит магнитный поток;

γ – угол между вектором B и нормалью к поверхности контура.

Единицей магнитного потока является *вебер* (Вб). Один вебер – это такой магнитный поток, который создается магнитным полем с индукцией 1 Тл через нормальное сечение площадью 1 м²:

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot 1 \text{ м}^2 = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}}.$$

1.2. Основные характеристики магнита

Источники магнитного поля:

– ферромагнитное тело из мягкого в магнитном отношении материала, находящееся во внешнем магнитном поле и получившее от него индуктивную (временную) намагниченность;

– ферромагнитное тело из твердого в магнитном отношении материала, обладающее постоянным магнетизмом, не зависящим от внешнего поля;

– проводник, контур или обмотка с электрическим током.

На рис. 1.2 показан мягкий ферромагнитный стержень, помещенный в магнитное поле с индуктивностью B_0 .

Под влиянием внешнего поля внутри ферромагнетика возникает внутреннее поле, индукция которого B_1 пропорциональна величине B_0 :

$$B_1 = \varkappa B_0, \quad (1.4)$$

где α – магнитная восприимчивость, зависящая от вида и качества ферромагнитного материала.

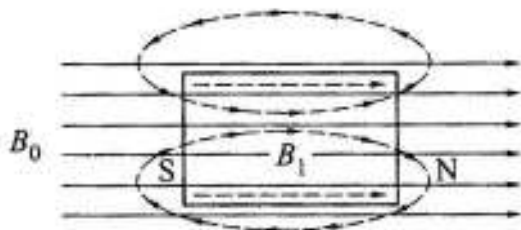


Рис. 1.2

Вектор B_1 , совпадая по направлению с вектором B_0 , определяет полярность намагниченного тела. Намагниченное таким образом тело имеет два полюса: N и S, становясь источником собственного магнитного поля, которое пронизывает стержень внутри и распространяется во внешнем пространстве.

Интенсивность намагничивания определяется выражением

$$J = \frac{B_1}{\mu_0} \quad (1.5)$$

Размерность этой величины – А/м.

Главной характеристикой любого магнита является магнитный момент M , который определяется выражением

$$M = J V$$

или с учетом равенства (1.5)

$$M = \frac{B_1 V}{\mu_0}, \quad (1.6)$$

где V – объем стержня, из которого изготовлен магнит.

Размерность магнитного момента – А·м².

Для примера можно отметить, что магнитный момент современного морского магнитного компаса составляет 2А·м².

Простейший магнит, приведенный на рис. 1.3, имеет два полюса: N и S. Полюс магнита – это часть его поверхности площадью S_p , через которую проходит полный магнитный поток Φ_p , создаваемый магнитом.

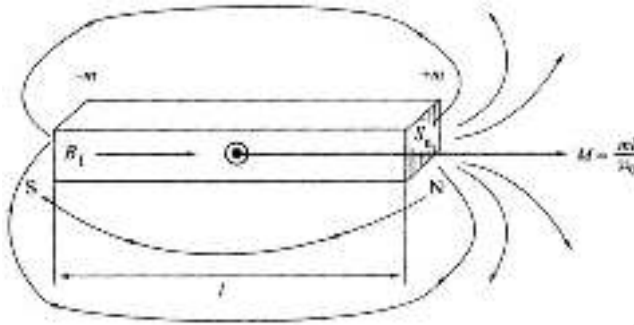


Рис. 1.3

Величина магнитного потока определяется выражением

$$\Phi_{\text{п}} = B_1 S_{\text{п}}. \quad (1.7)$$

Магнитный поток измеряется в веберах и является еще одной характеристикой магнита. Иногда магнитный поток магнита называют *количеством магнетизма* или *величиной магнитного полюса* m .

Сила притягивания или отталкивания магнитных полюсов двух разных магнитов (рис. 1.4) определяется законом Кулона:

$$F = \frac{mm_1}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad (1.8)$$

где m ; m_1 – количество магнетизма полюсов магнитов;

r – расстояние между взаимодействующими полюсами.

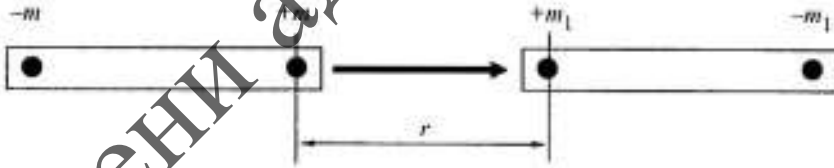


Рис. 1.4

Еще одной характеристикой магнита является *напряженность магнитного поля магнита*, определяемая как сила, действующая на единичный магнитный заряд:

$$H = \frac{F}{m_1}. \quad (1.9)$$

Подставив в выражение (1.9) значение F из (1.8), получим

$$H = \frac{m}{4\pi\mu_0 r^2}. \quad (1.10)$$

Равенство (1.10) определяет напряженность магнитного поля на расстоянии r от отдельного полюса магнита.

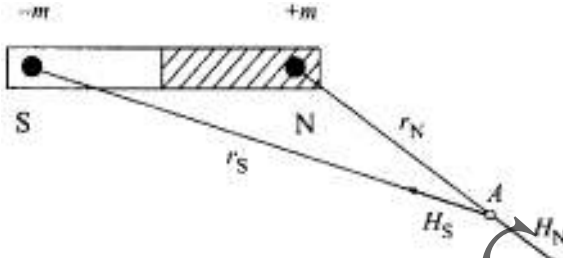


Рис. 1.5

На рис. 1.5 показана схема расположения векторов напряженности магнитного поля, которое создается двухполюсным магнитом в произвольной точке A . В соответствии с выражением (1.10) можно записать:

$$H_N = + \frac{m}{4\pi\mu_0 r_N^2}; \quad (1.11)$$

$$H_S = - \frac{m}{4\pi\mu_0 r_S^2}, \quad (1.12)$$

где r_N ; r_S – кратчайшие расстояния от точки A до полюсов.

С учетом соотношения $B = \mu_0 H$ для индукции магнитного поля имеем:

$$B_N = + \frac{m}{4\pi r_N^2}; \quad (1.13)$$

$$B_S = - \frac{m}{4\pi r_S^2}. \quad (1.14)$$

Значение магнитного момента прямолинейного магнита (см. рис. 1.3) можно определить с помощью равенства (1.6), подставив в него значение $V = S_n l$. Тогда учитывая, что $B_1 S_n = m$, получим

$$M = \frac{ml}{\mu_0}. \quad (1.15)$$

1.3. Поле прямолинейного магнита

Предположим, что прямолинейный магнит (рис. 1.6) имеет два полюса (+ m и $-m$) с расстоянием l между полюсами. Найдем сначала выражение для определения индукции магнитного поля B_1 в точке A_1 , которая расположена на продолжении оси магнита. Имеем

$$B_1 = B_N - B_S. \quad (1.16)$$

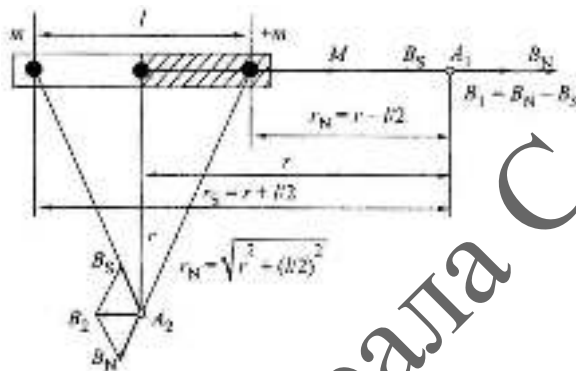


Рис. 1.6

Подставляя в равенство (1.16) выражения (1.13) и (1.14), после преобразований, с учетом того, что $\frac{ml}{\mu_0} = M$ для случая, когда точка A_1 достаточно удалена от магнита ($r \gg l/2$), окончательно получим

$$B_1 = \frac{M\mu_0}{2\pi r^3}. \quad (1.17)$$

Теперь определим значение индукции магнитного поля B_2 в точке A_2 , расположенной на перпендикуляре, проведенном из середины магнита. Как видно из рис. 1.6,

$$\overline{B_2} = \overline{B_N} + \overline{B_S}.$$

После преобразований окончательно имеем:

$$B_2 = \frac{M\mu_0}{4\pi r^3}. \quad (1.18)$$

Выражения (1.17) и (1.18) можно использовать для расчета индукции в любой произвольной точке A_3 .

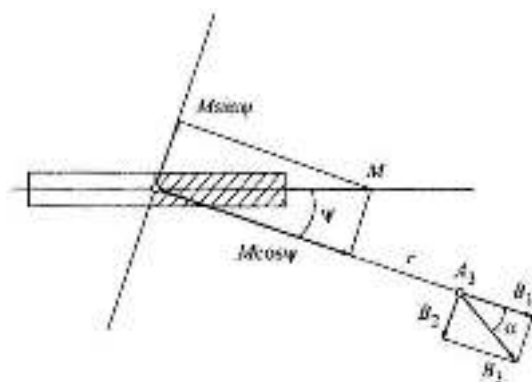


Рис. 1.7

Из рис. 1.7 видно, что

$$B_3 = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}. \quad (1.19)$$

После подстановки в равенство (1.19) выражений (1.17) и (1.18), с учетом проекций магнитного момента M (см. рис. 1.7), окончательно получим

$$B_3 = \frac{M\mu_0}{4\pi r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \psi}. \quad (1.20)$$

Угол α , определяющий направление вектора B_3 , можно найти по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_2}{B_1} = 0,5 \operatorname{tg} \psi. \quad (1.21)$$

1.4. Магнитное поле Земли

Магнитное поле Земли характеризуется следующими основными параметрами:

T – полный вектор магнитной индукции или напряженности магнитного поля Земли;

H – горизонтальная составляющая полного вектора напряженности магнитного поля Земли;

Z – вертикальная составляющая полного вектора напряженности магнитного поля Земли;

d – магнитное склонение, которое показывает, на какой угол магнитный меридиан отклонен от истинного меридиана;

I – магнитное наклонение – угол, на который магнитная стрелка отклонена от горизонтальной плоскости (для Финского залива $I = 72^\circ$).

Из рис. 1.8 очевидны следующие соотношения:

$$T^2 = H^2 + Z^2; H = T \cos I; Z = T \sin I; \operatorname{tg} I = Z/H.$$

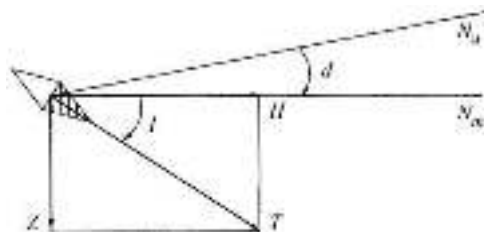


Рис. 1.8

По аналогии с географическими терминами существуют такие понятия, как магнитный экватор ($I = 0$), магнитная широта, магнитный полюс ($I = 90^\circ$).

Магнитные полюсы не совпадают с географическими. Северный магнитный полюс находится в Канадском арктическом архипелаге ($\varphi = 72^\circ \text{ N}$, $\lambda = 96^\circ \text{ W}$), южный – в Антарктиде ($\varphi = 70^\circ \text{ S}$, $\lambda = 150^\circ \text{ E}$).

Работу магнитного компаса определяет горизонтальная составляющая (H) напряженности магнитного поля Земли. От нее зависит величина направляющего момента компаса.

1.5. Направляющий момент магнитного компаса

В случае, если стрелка компаса под внешним воздействием отклоняется от магнитного меридиана, к ней будет приложен направляющий момент, препятствующий этому отклонению. После исчезновения внешнего воздействия стрелка компаса возвратится в магнитный меридиан.

На рис. 1.9 показана магнитная стрелка, которая отклонена на угол α от магнитного меридиана, вдоль которого действует горизонтальная составляющая полного вектора напряженности магнитного поля Земли H . В этом случае возникает вращающий момент, величина которого определяется выражением

$$L = Fl \sin \alpha, \quad (1.22)$$

где F – сила, действующая на каждый полюс магнитной стрелки;

L – расстояние между полюсами стрелки.

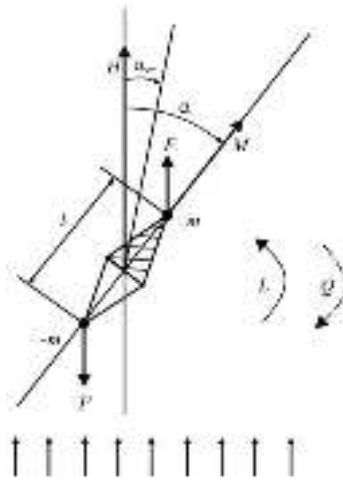


Рис. 1.9

Подставляя в равенство (1.22) значение F из выражения (1.9), получим

$$L = mHl \sin \alpha. \quad (1.23)$$

Если теперь правую часть равенства (1.23) умножить и разделить на μ_0 , будем иметь

$$L = \frac{m\mu_0}{\mu_0} Hl \sin \alpha \quad (1.24)$$

или с учетом равенства (1.15) получим

$$L = M\mu_0 H \sin \alpha. \quad (1.25)$$

Размерность M – ньютон · метр ($\text{Н} \cdot \text{м}$).

Если учесть, что $\mu_0 H = B$, то для направляющего момента можно записать

$$L = MB \sin \alpha. \quad (1.26)$$

Вращающий момент L всегда стремится совместить стрелку магнитного компаса с вектором H , т.е. установить ее вдоль магнитного меридиана. Поэтому он называется *направляющим моментом*. При повороте стрелки в ее опоре возникает момент сил сухого трения Q , который всегда направлен навстречу направляющему моменту. С уменьшением угла α направляющий момент уменьшается. Когда он сравняется с моментом сухого трения, движение стрелки в сторону магнитного меридиана прекратится. При этом останется какой-то угол $\alpha_{\text{ст}}$, называемый *статической по-*

грешностью компаса. Величина этого угла определяется формулой, которую легко получить из равенства (1.25):

$$\sin \alpha_{\text{ст}} = \frac{Q\mu_0}{MH}. \quad (1.27)$$

Угол $\alpha_{\text{ст}}$ (см. рис. 1.9) характеризует зону застоя магнитного компаса.

В соответствии с международными требованиями угол застоя для средних магнитных широт (Балтийское море, Северная Атлантика), в которых $H \approx 15$ мкТл, не должен превышать $0,2^\circ$.

Для уменьшения сил сухого трения в подвесе чувствительный элемент магнитного компаса снабжается поплавком и помещается в жидкость, которая практически компенсирует вес картушки.

Анализируя выражение (1.27), можно сделать вывод, что при плавании судна с изменением магнитной широты изменяется величина H . Следовательно, будет изменяться зона застоя компаса. Так, например, при переходе судна от экватора в Арктику величина зоны застоя изменяется в 10 раз. В районах магнитных полюсов направляющий момент компаса настолько мал, что компас практически перестает работать.

2. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СУДНА

Как отмечалось ранее, магнитное поле Земли характеризуется полным вектором T , который можно разложить на горизонтальную H и вертикальную Z составляющие. В свою очередь, горизонтальную составляющую магнитного поля Земли H , которая определяет направление магнитного меридиана N_m , можно разложить на оси координат, которые связаны с судном.

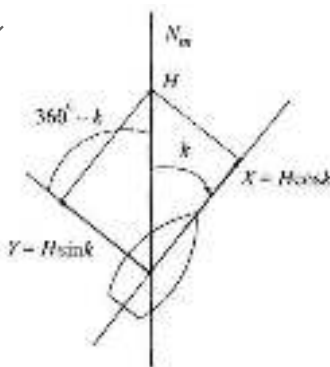


Рис. 2.1

Из рис. 2.1 видно, что эти составляющие будут:

$$\text{продольная} - X = H \cos k; \quad (2.1)$$

$$\text{поперечная} - Y = H \sin k, \quad (2.2)$$

где k – магнитный курс судна.

2.1. Уравнения Пуассона

Все судовое железо в магнитном отношении можно разделить на *твёрдое*, которое один раз намагнитившись, сохраняет эту намагниченность постоянно, и *мягкое*, которое в магнитном поле перемагничивается, а при его отсутствии теряет свой магнетизм.

Рассмотрим воздействие на магнитную систему компаса магнитных сил, создаваемых магнитным полем Земли и судовым железом (рис. 2.2).

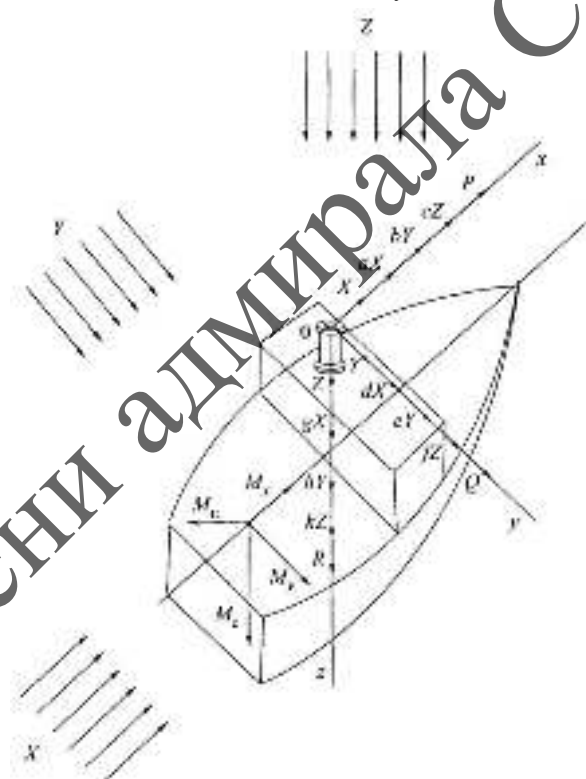


Рис. 2.2

Составляющими магнитного поля Земли X , Y и Z намагничиваются судовые элементы, состоящие из мягкого и твердого железа, которые как бы образуют магниты, расположенные в точке A , с магнитными моментами:

M_x – магнитный момент суммарной продольной намагниченности мягкого железа судна;

M_y – магнитный момент суммарной поперечной намагниченности мягкого железа судна;

M_z – магнитный момент суммарной вертикальной намагниченности мягкого железа судна;

$M_{\text{п}}$ – магнитный момент от постоянного магнетизма твердого судового железа.

В точке O расположена магнитная система компаса, на которую воздействуют магнитное поле Земли и все четыре магнитных момента. Они создают три составляющие индукции магнитного поля по всем трем осям.

Если просуммировать все силы, действующие в точке O , по трем осям, получим:

$$\begin{array}{l}
 \text{по оси } x - \quad X' = X \quad + \quad aX + bY + cZ \quad + \quad P; \\
 \text{по оси } y - \quad Y' = Y \quad + \quad dX + eY + fZ \quad + \quad Q; \\
 \text{по оси } z - \quad Z' = Z \quad + \quad gX + hY + kZ \quad + \quad R.
 \end{array} \quad (2.3)$$

Магнитное	Мягкое судовое	Твердое судовое
поле Земли	железо	железо

Система (2.3) называется *уравнениями Пуассона*.

Симеон Дени Пуассон (1781 – 1840) – французский математик, механик, физик, член Парижской АН с 1812 г. и Почетный член Петербургской АН с 1826 г.

Уравнения Пуассона наглядно характеризуют не только направление, но и происхождение сил, действующих на магнитный компас. Коэффициенты пропорциональности a, b, \dots, k называются *параметрами Пуассона*. Их значение зависит от места установки компаса на судне. Они являются постоянными величинами и сохраняются неизменными в течение длительного периода эксплуатации судна.

Если судно не имеет крена и дифферента, то на компас оказывают воздействие только силы, описываемые первыми двумя уравнениями Пуассона. При геометрическом сложении сил X' и Y' образуется горизонтальная составляющая H' индукции магнитного поля судна в точке O

(рис. 2.3), которая определяет направление компасного меридиана. Угол между магнитным и компасным меридианами есть девиация магнитного компаса δ . При изменении курса судна будет также меняться девиация.

Анализ уравнений Пуассона показывает, что большинство сил, входящих в уравнение, зависит от курса судна. Кроме того, параметры Пуассона a, c, e, k имеют величину первого или второго порядка малости, а параметры b, d, f, g и h – третьего порядка малости, и ими в некоторых случаях можно пренебречь. По этой причине уравнения (2.3) для решения практических задач неудобны. Удобнее иметь и рассматривать те магнитные силы, модули которых являются постоянными величинами и не зависят от курса судна. Такие силы можно получить, если математически преобразовать уравнения Пуассона.

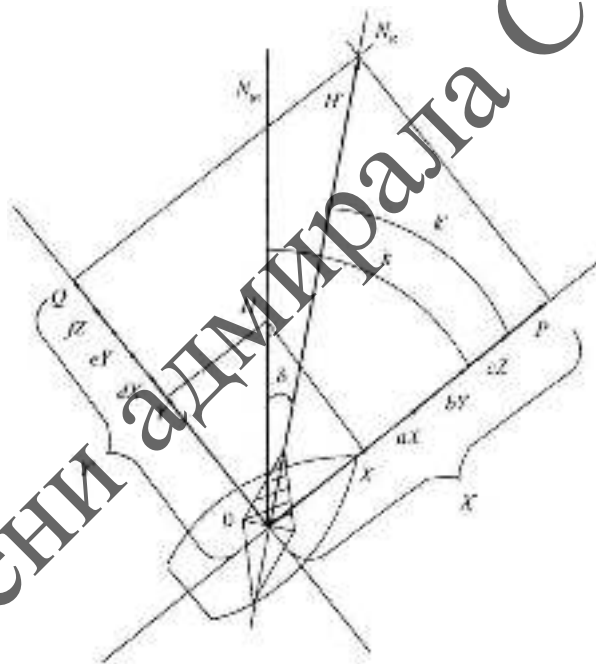


Рис. 2.3

Методика преобразования заключается в том, что параметры a, b, d и e задаются в виде полусумм и полуразностей, а именно:

$$a = \frac{a+e}{2} + \frac{a-e}{2}; \quad e = \frac{a+e}{2} - \frac{a-e}{2}; \quad d = \frac{d+b}{2} + \frac{d-b}{2}; \quad b = \frac{d+b}{2} - \frac{d-b}{2}.$$

Подставив эти значения параметров Пуассона в первые два уравнения системы (2.3) и проведя соответствующие преобразования, получим значения шести сил, действующих на магнитную систему компаса:

$$F_1 = \lambda H; F_2 = D\lambda H; F_3 = E\lambda H; F_4 = A\lambda H; F_5 = B\lambda H; F_6 = C\lambda H, \quad (2.5)$$

где $\lambda = 1 + \frac{a+e}{2}$; $A = \frac{d-b}{2\lambda}$; $B = \frac{cZ+P}{2\lambda}$; $C = \frac{fZ+Q}{2\lambda}$;

$$D = \frac{a-e}{2\lambda}; E = \frac{d+b}{2\lambda}.$$

Значения полученных сил (2.4) постоянны и не зависят от курса судна.

Контрольные вопросы

1. Характеристиками магнитного поля являются: магнитная индукция напряженность магнитного поля, магнитный поток. Какая из этих величин имеет размерность $A \cdot m^{-1}$:

- магнитная индукция (см. пояснение 18);
- напряженность магнитного поля (см. пояснение 33);
- магнитный поток (см. пояснение 45).

2. Напряженность магнитного поля связана с магнитной индукцией в воздухе соотношениями:

- $B = \mu_0 H$ (см. пояснение 60);
- $H = \mu_0 B$ (см. пояснение 71);
- $B = \frac{H}{\mu_0}$ (см. пояснение 78);
- $H = \frac{B}{\mu_0}$ (см. пояснение 88).

3. Какова магнитная индукция поля, создаваемого прямоугольным магнитом в точке на расстоянии r :

- обратно пропорциональна r (см. пояснение 66);
- обратно пропорциональна r^2 (см. пояснение 39);
- обратно пропорциональна r^3 (см. пояснение 22).

4. Какими параметрами характеризуется магнитное поле Земли:

- широтой места (см. пояснение 29);
- вертикальной составляющей полного вектора (см. пояснение 64);
- магнитным склонением (см. пояснение 82);

– девиацией (см. пояснение 25).

5. Чем создаются силы aX , eY и kZ в уравнениях Пуассона, куда входят магнитные силы, создаваемые магнитным полем Земли, мягким и твердым судовым железом:

- магнитным полем Земли (см. пояснение 50);
- мягким судовым железом (см. пояснение 36);
- твердым судовым железом (см. пояснение 85).

ЛЕКЦИЯ 2

2.2. Судовые магнитные силы

Как отмечалось ранее, на магнитную систему компаса действуют шесть судовых магнитных сил, каждая из которых имеет свои характеристики и определенное направление относительно магнитного меридиана.

Рассмотрим каждую из этих сил.

λH – эта сила, образованная в результате сложения двух, которые действуют вдоль магнитного меридиана. Следовательно, и λH действует вдоль магнитного меридиана. Эта сила является полезной, поскольку заставляет магнитную систему компаса находить направление магнитного меридиана. Коэффициент λ – безразмерный. Он показывает, насколько направляющая сила λH на судне уменьшена влиянием судового железа по сравнению с аналогичной силой H вне судна. Коэффициент $\lambda < 1$. На верхнем мостике $\lambda = 0,8 \dots 0,9$, в рулевой рубке $\lambda = 0,5 \dots 0,7$, в румпельном отделении $\lambda = 0,3 \dots 0,5$. Поэтому компас надежнее работает на верхнем мостике, чем в рулевой рубке, и тем более, чем в румпельном отделении.

λH – сила, возникающая в результате геометрического сложения двух сил: отрицательной продольной $-\frac{d-b}{2}Y$ и положительной $\frac{d-b}{2}X$ (рис. 2.4). Направление силы λH определяется углом α_4 на рис. 2.4, который отсчитывается от оси y . Углы α_1 и α_4 равны, так как

$$|\operatorname{tg}\alpha_4| = \frac{\frac{d-b}{2}Y}{\frac{d-b}{2}X} = \frac{Y}{X} = |\operatorname{tg}\alpha_1|. \quad (2.6)$$

Поскольку углы α_1 и α_4 равны между собой и отсчитываются от взаимно перпендикулярных осей, угол β , который определяет направление

силы $A\lambda H$, всегда равен 90° . Это означает, что независимо от курса судна сила $A\lambda H$ всегда действует перпендикулярно магнитному меридиану, создавая постоянную девиацию, величина которой не превышает 1° и не уничтожается, а учитывается в поправке компаса.

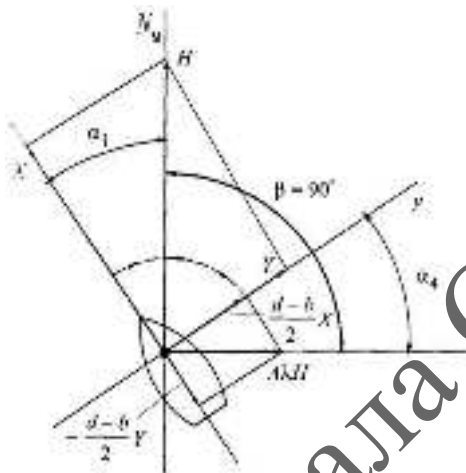


Рис. 24

$B\lambda H$ – сила, образованная в результате алгебраического сложения двух продольных сил: cZ и P . Это означает, что и сила $B\lambda H$ также действует вдоль ДП судна, т.е. ее направление совпадает с линией магнитного курса судна. Девиация от этой силы полукруговая, т.е. она изменяет свой знак дважды за полный цикл изменения курса судна (360°). Максимальное значение девиации от этой силы возникает на курсах E и W, когда сила $B\lambda H$ перпендикулярна магнитному меридиану и равна нулю на курсах N и S, когда сила $B\lambda H$ совпадает с магнитным меридианом.

$C\lambda H$ – сила, возникающая в результате сложения двух поперечных сил fZ и Q , которые действуют перпендикулярно ДП судна. Следовательно, сила $C\lambda H$ действует по направлению перпендикулярно магнитному курсу судна ($k + 90^\circ$). Она также создает полукруговую девиацию с максимальным значением на магнитных курсах N и S и нулевым значением на курсах E и W.

$D\lambda H$ – сила, образованная в результате геометрического сложения положительной продольной силы $\frac{a-e}{2} X$ и отрицательной поперечной силы

$-\frac{a-e}{2}Y$. Сила $D\lambda H$ относительно ДП судна действует под углом α_2 (рис.

2.5). При этом $\alpha_2 = -\alpha_1$. Знак «минус» означает, что угол α_2 отсчитывается от ДП судна против часовой стрелки. Тогда для угла γ , который определяет направление силы $D\lambda H$, можно получить

$$\gamma = 360^\circ - 2\alpha_1 = 360^\circ - 2(360^\circ - k) = 2k. \quad (2.7)$$

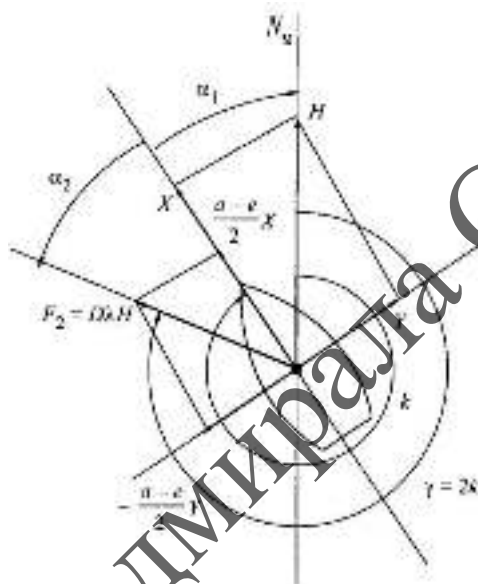


Рис. 2.5

Из выражения (2.7) видно, что сила $D\lambda H$ действует по направлению двух магнитных курсов. Это означает, что максимальное значение девиации от этой силы будет на четвертных румбах NE, SE, SW и NW, т.е. девиация носит четвертной характер.

$E\lambda H$ – сила, создаваемая геометрическим сложением продольной силы

$$\frac{d+b}{2}Y \text{ и поперечной силы } \frac{d+b}{2}X.$$

С помощью рис. 2.6 можно показать, что направление действия силы $E\lambda H$ перпендикулярно силе $D\lambda H$, т.е. относительно магнитного меридиана сила $E\lambda H$ действует под углом двух магнитных курсов плюс девяносто градусов: $2k + 90^\circ$.

Рассматривая действие силы $E\lambda H$ совместно с направляющей силой λH на различных магнитных курсах судна, можно убедиться, что на четвертных курсах (NE, SE, SW, NW) эта сила не вызывает девиации, а на главных курсах (N, E, S, W), наоборот, создает максимальную девиацию. Девиация от силы $E\lambda H$, так же как и от силы $D\lambda H$, носит четвертной характер. Однако на транспортных судах величина коэффициента E очень мала, и девиация от силы $E\lambda H$ составляет доли градусов.

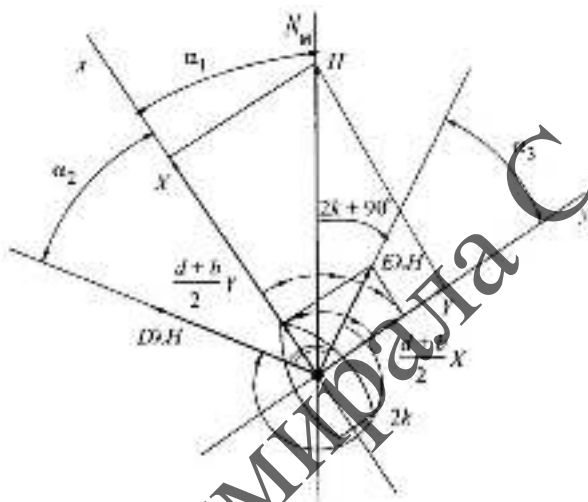


Рис. 2.6

Основные сведения о судовых магнитных силах, действующих на компас, и девиациях, возникающих от их влияния, приведены в следующей таблице:

Сила	Направление действия	Происхождение	Девиация
λH	0°	От продольного и поперечного мягкого судового железа	Нет
$A\lambda H$	90°		Постоянная
$B\lambda H$	k	От вертикального мягкого и любого твердого судового железа	Полукруговая
$C\lambda H$	$k+90^\circ$		Полукруговая
$D\lambda H$	$2k$	От продольного и поперечного мягкого судового железа	Четвертная
$E\lambda H$	$2k+90^\circ$		Четвертная

3. ДЕВИАЦИЯ МАГНИТНОГО КОМПАСА

3.1. Многоугольник сил

При известных значениях судовых магнитных сил путем графического построения можно найти значение девиации магнитного компаса для конкретного курса. Для этого необходимо в некотором масштабе построить многоугольник сил.

В качестве примера построим многоугольник сил для магнитного курса $k = 45^\circ$ (рис. 3.1). Начинается построение с проведения магнитного меридиана N_m . Затем поочередно наносятся все магнитные силы в соответствии с табл. 2.1.

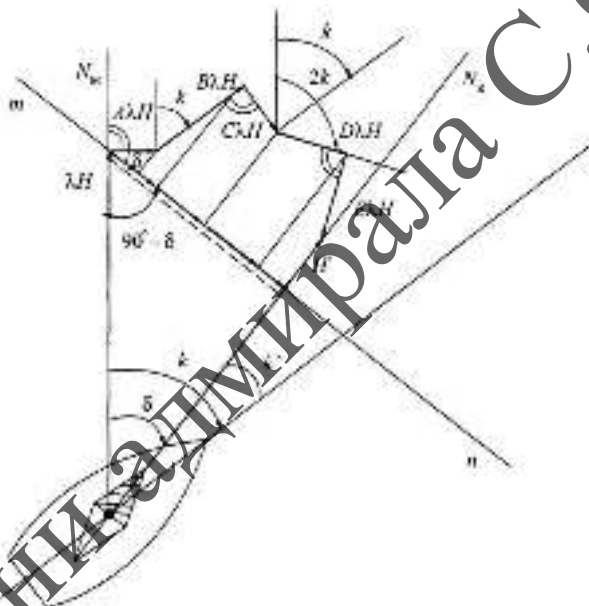


Рис. 3.1

Суммарный вектор N , который соединяет начало силы λH с концом вектора силы $E\lambda H$ и замыкает многоугольник сил, определяет направление компасного меридиана N_k . Тогда из полученного рисунка легко определить угол между магнитным и компасным меридианами, который и является девиацией магнитного компаса на данном курсе. На рис. 3.1 через k' обозначен компасный курс судна. Необходимо иметь в виду, что при изменении магнитного курса будет изменяться и многоугольник сил.

3.2. Основная формула девиации

Задачу определения девиации магнитного компаса можно решить также и аналитическим путем. Для этого используется основная формула девиации, которая выводится с помощью многоугольника сил. Для вывода основной формулы девиации проведем через конец вектора λH линию mn , перпендикулярную компасному меридиану (см. рис. 3.1), и спроецируем на неё все судовые магнитные силы, действующие на компас. Как видно из рисунка, только проекция силы λH будет действовать влево, проекции всех остальных сил – вправо. Учитывая, что стрелка магнитного компаса устанавливается вдоль результирующей силы H' , можно сделать вывод, что алгебраическая сумма всех судовых сил равна нулю. При проецировании сил на линию mn будем использовать данные табл. 3.1, в которой указаны углы между каждой из сил и линией mn . Эти углы легко найти с помощью рис. 3.1.

Таблица 3.1

Сила	λH	$A \lambda H$	$B \lambda H$	$C \lambda H$	$D \lambda H$	$E \lambda H$
Угол	$90^\circ - \delta$	Δ	$90^\circ - k'$	k'	$2k' + \delta - 90^\circ$	$2k' + 90^\circ$

Если просуммировать проекции всех сил и приравнять их нулю, то можно получить следующее уравнение, которое определяет положение равновесия магнитной стрелки компаса:

$$-\lambda H \cos(90^\circ - \delta) + A\lambda H \cos \delta + B\lambda H \cos(90^\circ - k') + C\lambda H \cos k' + D\lambda H \cos(2k' + \delta - 90^\circ) + E\lambda H \cos(2k' + \delta) = 0$$

или

$$\lambda H \cos(90^\circ - \delta) = A\lambda H \cos \delta + B\lambda H \cos(90^\circ - k') + C\lambda H \cos k' + D\lambda H \cos(2k' + \delta - 90^\circ) + E\lambda H \cos(2k' + \delta). \quad (3.1)$$

Если теперь все слагаемые уравнения (3.1) сократить на λH , то после несложных преобразований имеем

$$\sin \delta = A \cos \delta + B \sin k' + C \cos k' + D \sin(2k' + \delta) + E \cos(2k' + \delta). \quad (3.2)$$

Если остаточная девиация магнитного компаса не превышает 6° , то выражение (3.2) будет

$$\delta = A + B \sin k' + C \cos k' + D \sin 2k' + E \cos 2k', \quad (3.3)$$

или учитывая, что k' есть компасный курс судна КК, имеем

$$\delta = A + B \sin KK + C \cos KK + D \sin 2KK + E \cos 2KK. \quad (3.4)$$

Равенство (3.4) и есть основная формула девиации магнитного компаса, величины A , B , C , D и E которой называются *коэффициентами девиации*. Формула (3.4) используется для расчета коэффициентов девиации, а также для вычисления таблицы остаточной девиации после ее уничтожения. При этом необходимо иметь в виду, что равенство (3.4) является приближенным. Поэтому оно позволяет получить достаточно точные вычисления только в том случае, когда остаточная девиация невелика.

3.3. Составление таблицы девиации

После уничтожения девиации необходимо определить ее остаточное значение и составить рабочую таблицу девиации. Определяется девиация по известному выражению

$$\delta = \text{МП} - \text{КП}, \quad (3.5)$$

где МП – магнитный пеленг какого-либо объекта;

КП – компасный пеленг того же объекта.

В практике судовождения используются следующие методы определения девиации магнитного компаса:

- по пеленгу створа, истинный пеленг (ИП) которого указан на карте;
- по пеленгу небесного светила;
- по сличению с гирокомпасом;
- по пеленгу естественного створа, который не обозначен на карте.

При использовании любого из указанных методов необходимо иметь в виду, что девиация определяется для конкретного компасного курса.

Первые три из перечисленных методов по различным причинам можно применять не всегда. В данном случае прибегают к четвертому методу, суть которого заключается в следующем:

- выбирают естественный створ, который имеется на местности, но отсутствует на карте;
- ложатся поочередно на восемь компасных курсов: 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° ;
- на каждом из курсов при пересечении створа берут его компасный пеленг с точностью до 1° ;
- рассчитывают среднее арифметическое из восьми компасных пеленгов:

$$(\text{КП}_0 + \text{КП}_{45} + \text{КП}_{90} + \dots + \text{КП}_{315}) \approx \text{МП};$$

– определяют девиацию компаса на восьми курсах, используя данные табл. 3.2.

Таблица 3.2

КК	КП	$\delta = \text{МП} - \text{КП}$	КК	КП	$\delta = \text{МП} - \text{КП}$
0			180		
45			225		
90			270		
135			315		

Необходимо иметь в виду, что в полученном таким способом МП присутствует некоторая постоянная погрешность из-за коэффициента A , а также некоторая инструментальная погрешность пеленгатора. Однако в большинстве случаев эти погрешности малы и их можно не учитывать. Таким образом, получаем таблицу девиации для восьми курсов. Однако такая таблица неудобна для практического применения, так как между курсами имеются большие интервалы. Обычно необходимо иметь таблицу девиации с интервалами между курсами 10° . Чтобы её получить, используют специальный метод, который заключается в том, что на основе полученных на восьми курсах девиаций рассчитывают коэффициенты судовых сил A , B , C , D и E . Затем, используя эти коэффициенты, составляют таблицу остаточной девиации на любые промежуточные курсы. Весь процесс состоит из трех этапов:

- 1-й этап – определение остаточной девиации на восьми курсах;
- 2-й этап – вычисление пяти коэффициентов девиации;
- 3-й этап – расчет рабочей таблицы девиации с любыми нужными интервалами.

Рассмотрим, каким образом выводятся формулы для расчета коэффициентов девиации. Принцип получения этих формул заключается в следующем:

- на основе выражения (3.4) записываются уравнения по результатам определения девиации на восьми курсах (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° и 315°);

- каждое из полученных уравнений решается относительно определяемого коэффициента девиации;

- в каждом из уравнений все слагаемые умножаются на величину, которая стоит перед искомым коэффициентом девиации;

- левые и правые части восьми уравнений алгебраически складываются;

– выполняются сокращения и преобразования с учетом следующих равенств:

$$\begin{aligned}
 \sin 135^\circ &= \sin 45^\circ; & \cos 135^\circ &= -\sin 45^\circ; \\
 \sin 225^\circ &= -\sin 45^\circ; & \cos 225^\circ &= -\sin 45^\circ; \\
 \sin 315^\circ &= -\sin 45^\circ; & \cos 315^\circ &= \sin 45^\circ; \\
 \sin 0^\circ &= 0; & \cos 45^\circ &= \sin 45^\circ; \\
 \cos 0^\circ &= 1; & \sin 90^\circ &= 1; \\
 \cos 90^\circ &= 0; & \sin 180^\circ &= 0; \\
 \cos 180^\circ &= -1; & \sin 270^\circ &= -1; \\
 \cos 270^\circ &= 0.
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

– определяется формула для вычисления соответствующего коэффициента.

Для примера выведем формулы для расчета коэффициентов девиации A и C .

Сначала найдем формулу для расчета коэффициента A .

По результатам определения девиации на восьми курсах с помощью выражения (3.4) получаем следующие восемь уравнений:

$$\begin{aligned}
 \delta_0 &= A + B\sin 0^\circ + C\cos 0^\circ + D\sin 0^\circ + E\cos 0^\circ; \\
 \delta_{45} &= A + B\sin 45^\circ + C\cos 45^\circ + D\sin 90^\circ + E\cos 90^\circ; \\
 \delta_{90} &= A + B\sin 90^\circ + C\cos 90^\circ + D\sin 180^\circ + E\cos 180^\circ; \\
 \delta_{135} &= A + B\sin 135^\circ + C\cos 135^\circ + D\sin 270^\circ + E\cos 270^\circ; \\
 \delta_{180} &= A + B\sin 180^\circ + C\cos 180^\circ + D\sin 0^\circ + E\cos 0^\circ; \\
 \delta_{225} &= A + B\sin 225^\circ + C\cos 225^\circ + D\sin 90^\circ + E\cos 90^\circ; \\
 \delta_{270} &= A + B\sin 270^\circ + C\cos 270^\circ + D\sin 180^\circ + E\cos 180^\circ; \\
 \delta_{315} &= A + B\sin 315^\circ + C\cos 315^\circ + D\sin 270^\circ + E\cos 270^\circ.
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

Решая каждое из них, а затем, складывая левые и правые части с учетом значений тригонометрических функций в соответствии с учетом равенств (3.6), получим:

$$8A = \delta_0 + \delta_{45} + \delta_{90} + \delta_{135} + \delta_{180} + \delta_{225} + \delta_{270} + \delta_{315}$$

или окончательно –

$$A = \frac{1}{8}(\delta_0 + \delta_{45} + \delta_{90} + \delta_{135} + \delta_{180} + \delta_{225} + \delta_{270} + \delta_{315}). \tag{3.8}$$

Равенство (3.8) позволяет определить значение коэффициента A .

Теперь определим формулу для расчета коэффициента C . Вначале решим все уравнения системы (3.7) относительно коэффициента C . Тогда с учетом соотношений (3.6) получим:

$$\left. \begin{aligned}
 C &= \delta_0 - A - E; \\
 C \sin 45^\circ &= \delta_{45} - A - B \sin 45^\circ - D; \\
 C_0 &= \delta_{90} - A - B \sin 45^\circ + E; \\
 C \sin 45^\circ &= -\delta_{135} + A + B \sin 45^\circ - D; \\
 C &= -\delta_{180} + A + E; \\
 C \sin 45^\circ &= -\delta_{225} + A - B \sin 45^\circ + D; \\
 C_0 &= \delta_{270} - A + B - E; \\
 C \sin 45^\circ &= \delta_{315} - A + B \sin 45^\circ + D.
 \end{aligned} \right\} (3.9)$$

Затем умножив слагаемые и правой и левой части каждого из уравнений на величину, которая стоит рядом коэффициентом C данного уравнения, получим:

$$\left. \begin{aligned}
 C &= \delta_0 - A - E; \\
 C \sin^2 45^\circ &= \delta_{45} \sin 45^\circ - A \sin 45^\circ - B \sin^2 45^\circ - D \sin 45^\circ; \\
 C \sin^2 45^\circ &= -\delta_{135} \sin 45^\circ + A \sin 45^\circ + B \sin^2 45^\circ - D \sin 45^\circ; \\
 C &= -\delta_{180} + A + E; \\
 C \sin^2 45^\circ &= -\delta_{225} \sin 45^\circ + A \sin 45^\circ - B \sin^2 45^\circ + D \sin 45^\circ; \\
 C \sin^2 45^\circ &= \delta_{315} \sin 45^\circ - A \sin 45^\circ + B \sin^2 45^\circ + D \sin 45^\circ.
 \end{aligned} \right\} (3.10)$$

Если сложить левые и правые части всех уравнений системы (3.10) и провести сокращения, то в итоге будем иметь

$$2C + 4C \sin^2 45^\circ = [(\delta_0 - \delta_{180}) + (\delta_{45} - \delta_{225}) \sin 45^\circ - (\delta_{135} - \delta_{315}) \sin 45^\circ].$$

Учитывая, что $\sin^2 45^\circ = 1/2$, окончательно для коэффициента девиации C получим:

$$C = \frac{1}{4} [(\delta_0 - \delta_{180}) + (\delta_{45} - \delta_{225}) \sin 45^\circ - (\delta_{135} - \delta_{315}) \sin 45^\circ]. \quad (3.11)$$

Аналогичным образом можно найти выражения для расчета остальных коэффициентов, а именно:

$$B = \frac{1}{4} [(\delta_{90} - \delta_{270}) + (\delta_{45} - \delta_{225}) \sin 45^\circ - (\delta_{135} - \delta_{315}) \sin 45^\circ]; \quad (3.12)$$

$$D = \frac{1}{4} [(\delta_{45} + \delta_{225}) - (\delta_{135} + \delta_{315})]; \quad (3.13)$$

$$E = \frac{1}{4} [(\delta_0 + \delta_{180}) - (\delta_{90} + \delta_{270}) \sin 45^\circ]. \quad (3.14)$$

Таким образом, имея информацию о девиации компаса на восьми курсах с помощью равенств (3.8), (3.11) – (3.14), можно определить значения всех пяти коэффициентов девиации (A , B , C , D и E). Если теперь эти коэффициенты подставить в основную формулу девиации (3.4), то можно рассчитать таблицу девиации через любые интервалы изменения компасного курса. Вычисления можно проводить с использованием как специальных бланков (прил. 4), так и специальной компьютерной программы.

Контрольные вопросы

6. Судовым железом (мягким и твердым) создаются судовые магнитные силы, наличие которых приводит к возникновению постоянной, полукруговой или четвертной девиации. От судового продольного и поперечного мягкого железа возникает:

- постоянная девиация (см. пояснение 1);
- полукруговая девиация (см. пояснение 31);
- четвертная девиация (см. пояснение 41).

7. Судовым железом (мягким и твердым) создаются судовые магнитные силы, наличие которых приводит к возникновению постоянной, полукруговой или четвертной девиации. От судового вертикального мягкого железа возникает:

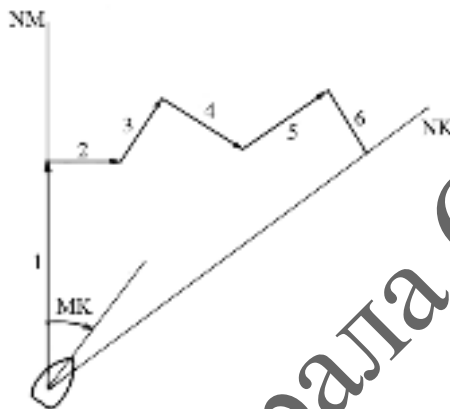
- постоянная девиация (см. пояснение 49);
- полукруговая девиация (см. пояснение 10);
- четвертная девиация (см. пояснение 58).

8. На магнитную систему компаса воздействуют силы λH , $A\lambda H$, $B\lambda H$, $C\lambda H$, $D\lambda H$ и $E\lambda H$. От курса судна не зависит направление действия следующих сил:

- λH (см. пояснение 69);
- $A\lambda H$ (см. пояснение 14);
- $B\lambda H$ (см. пояснение 77);
- $C\lambda H$ (см. пояснение 87);
- $D\lambda H$ (см. пояснение 55);
- $E\lambda H$ (см. пояснение 11).

9. На рисунке изображен многоугольник сил для $MK = 30^\circ$. Судовые магнитные силы $B\lambda H$ и $C\lambda H$ на этом рисунке обозначены следующим образом:

- индексом 1 (см. пояснение 73);
- индексом 2 (см. пояснение 19);
- индексом 3 (см. пояснение 80);
- индексом 4 (см. пояснение 2);
- индексом 5 (см. пояснение 86);
- индексом 6 (см. пояснение 75).



10. При определении девиации компаса магнитный пеленг с достаточной степенью точности можно определить:

- по створу, нанесенному на карту (см. пояснение 16);
- по компасным пеленгам створа, которого нет на карте на двух главных компасных курсах (см. пояснение 67);
- по компасным пеленгам створа, которого нет на карте на четырех главных компасных курсах (см. пояснение 47);
- по компасным пеленгам створа, которого нет на карте на восьми главных компасных курсах (см. пояснение 9).

ЛЕКЦИЯ 3

3.4. Общие принципы уничтожения девиации

Судовым железом создаются судовые магнитные силы ($A\lambda H$, $B\lambda H$, $C\lambda H$, $D\lambda H$ и $E\lambda H$), результирующий вектор которых H' определяет величину направляющего момента магнитного компаса, а, следовательно, и качество его работы. На разных курсах судовые силы имеют различные направления относительно магнитного меридиана. Поэтому, особенно

если эти силы соизмеримы с вектором индукции λH , девиация компаса может иметь большую величину. Сама по себе большая девиация отрицательно на работе компаса не сказывается, однако ее возникновение связано с большими значениями судовых магнитных сил, а это может привести к ситуации, когда на некоторых курсах результирующий вектор H' будет очень мал (а может даже стать равным нулю), т.е. компас становится неработоспособным. Поэтому девиацию магнитного компаса необходимо уменьшать, т.е. компенсировать действие судовых магнитных сил.

Из всех судовых магнитных сил самой малой является сила $A\lambda H$, которая создает девиацию не более 1° . Эту силу не компенсируют, и создаваемая ею девиация входит в общую поправку компаса.

Силы $D\lambda H$ и $E\lambda H$, возникающие от действия судового мягкого горизонтального железа, создают четвертную девиацию. Величина этих сил уменьшается компенсаторами четвертной девиации, которые изготавливаются из мягкого железа в виде круглых брусков, шаров или пластин и устанавливаются в верхней части нактоуза снаружи. Учитывая, что четвертная девиация более стабильна, чем полукруговая, ее, как правило, уничтожают один раз после постройки судна. В дальнейшем вместе с судовым железом также переманивается материал компенсаторов четвертной девиации, и коэффициенты D и E сохраняют свои значения, близкими нулю.

Иначе обстоит дело с полукруговой девиацией. Она создается судовыми силами $B\lambda H$ и $C\lambda H$, каждая из которых состоит из двух величин:

$$B\lambda H = cZ + P; \quad (3.15)$$

$$C\lambda H = fZ + Q. \quad (3.16)$$

В выражениях (3.15) и (3.16) силы P и Q создаются твердым судовым железом и являются величинами постоянными. Силы cZ и fZ образуются от судового мягкого вертикального железа и их значения не зависят от курса судна, но зависят от магнитной широты, так как с изменением последней меняется величина вертикальной составляющей полного вектора напряженности магнитного поля Земли Z . Это означает, что для района плавания с небольшим изменением широты силы $B\lambda H$ и $C\lambda H$ можно компенсировать с помощью постоянных магнитов.

В процессе эксплуатации судна по различным причинам силы P и Q изменяются по величине, что приводит к изменению полукруговой девиации компаса. Поэтому необходимо периодически контролировать значения коэффициентов полукруговой девиации B и C и если потребуется, повторно уничтожать полукруговую девиацию, а также составлять новую таблицу остаточной девиации. При значительном изменении широты во время плавания судна коэффициенты полукруговой девиации B и C изменяются за счет изменения сил cZ и fZ , возникает так называемая *широтная девиация*. Для компенсации этого явления используется широтный компенсатор, который представляет собой вертикальный стержень из мягкого железа, устанавливаемый снаружи нактоуза.

При наличии у судна крена, дифферента или качки у компаса возникает *креновая девиация*. Для ее уничтожения в нактоузе под котелком компаса имеется вертикальный магнит, который получил название *кренового магнита*. Таким образом, для уничтожения возникающих у компаса девиаций применяется целый ряд компенсаторов. При этом основным принципом в основе компенсации судовых магнитных сил является следующий: *«Каким железом создается девиация, из такого железа изготавливается компенсатор»*.

Так, например:

– если полукруговая девиация создается твердым судовым железом, то и компенсатор этой девиации изготовлен из твердого железа (магниты-компенсаторы);

– если широтная девиация (переменная часть полукруговой девиации) создается судовым мягким вертикальным железом, то и компенсатор представляет собой вертикальный брусок из мягкого железа (широтный компенсатор);

– если четвертная девиация возникает от судового горизонтального мягкого железа, то и компенсаторы этой девиации изготавливаются из мягкого железа.

4. УНИЧТОЖЕНИЕ ДЕВИАЦИИ МАГНИТНОГО КОМПАСА

4.1. Уничтожение полукруговой девиации

Для уничтожения полукруговой девиации необходимо с помощью продольных и поперечных магнитов-уничтожителей скомпенсировать судовые магнитные силы $B\lambda H$ и $C\lambda H$. В течение периода развития магнитно-компасного дела было предложено много методов уничтожения полукруговой девиации, но наибольшее распространение получили два из них. Один был предложен английским астрономом, иностранным членом-корреспондентом Петербургской академии наук Джорджем Эри (1801 – 1892), другой – русским ученым, членом-корреспондентом Петербургской академии наук Иваном Петровичем Колонгом (1839 – 1901). Общим у этих способов является то, что на главных курсах (N, E, S, W) необходимо с помощью магнитов-уничтожителей уменьшить до минимума действие судовых магнитных сил $B\lambda H$ и $C\lambda H$. Различие этих способов состоит в том, что при выполнении способа Эри необходимо ложиться на магнитные курсы, а способ Колонга выполняется на компасных курсах. Кроме того, при использовании этого способа требуется специальный прибор (дефлектор Колонга) для измерения индукции магнитного поля в центре картушки компаса.

4.1.1. Способ Эри

При использовании способа Эри для уничтожения полукруговой девиации необходимо ложиться на четыре главные магнитные курса. Компенсация сил $B\lambda H$ и $C\lambda H$, которые создают полукруговую девиацию, осуществляется перемещением продольных и поперечных магнитов-уничтожителей. При этом продольные магниты компенсируют силу $B\lambda H$, а поперечные – $C\lambda H$.

Теоретическое обоснование способа Эри можно показать с помощью многоугольника сил. Когда судно ложится на $MK = 0^\circ$, то на магнитную систему компаса действуют силы, приведенные на рис. 4.1. Как видно из рисунка, силы λH , $B\lambda H$ и $D\lambda H$ действуют вдоль магнитного меридиана и девиации не создают.

Силы $A\lambda H$, $C\lambda H$ и $E\lambda H$, которые действуют перпендикулярно магнитному меридиану, создают девиацию δ_N , т.е. по картушке компаса мы видим девиацию, которая создается тремя силами, а нам нужно скомпенсировать

только ту ее часть, которая создается силой $C\lambda H$. Для выполнения этой задачи поперечными магнитами-уничтожителями доводят до нуля наблюдаемую девиацию δ_N . При этом создается сила F_N , компенсирующая все три судовые магнитные силы ($A\lambda H$, $C\lambda H$ и $E\lambda H$), создающие девиацию δ_N .

Силу F_N можно представить в виде двух частей, одна из которых по величине равна силе, подлежащей компенсации ($C\lambda H$), а другая – сумме сил ($A\lambda H + E\lambda H$), которые не должны компенсироваться:

$$F = f_1 + f_2; \quad (4.1)$$

$$f_1 = C\lambda H; \quad (4.2)$$

$$f_2 = A\lambda H + E\lambda H. \quad (4.3)$$

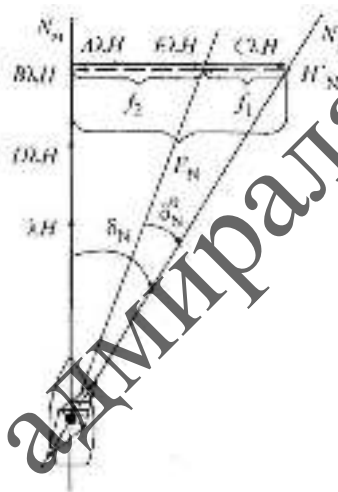


Рис. 4.1

Для того, чтобы восстановить силы $A\lambda H$ и $E\lambda H$, судно ложится на $MK = 180^\circ$. Многоугольник сил для этого курса представлен на рис. 4.2. Как видно из рисунка, судовая магнитная сила $C\lambda H$ скомпенсирована силой f_1 , а силы $A\lambda H$ и $E\lambda H$ действуют в ту же сторону, что и компенсирующая сила f_2 . Это означает, что наблюдаемая на $MK = 180^\circ$ девиация δ_S создается суммой сил: $f_2 + A\lambda H + E\lambda H$. Так как по величине $f_2 = A\lambda H + E\lambda H$, для того, чтобы восстановить скомпенсированные на $MK = 0^\circ$ силы $A\lambda H$ и $E\lambda H$, необходимо поперечными магнитами-уничтожителями уменьшить девиацию δ_S в два раза. Это будет означать, что за счет действия си-

лы f_1 судовая магнитная сила $C\lambda H$ уничтожена, и такое положение будет сохраняться на любом курсе. Аналогичным образом выполняется компенсация судовой силы $B\lambda H$ на магнитных курсах 90° и 270° .

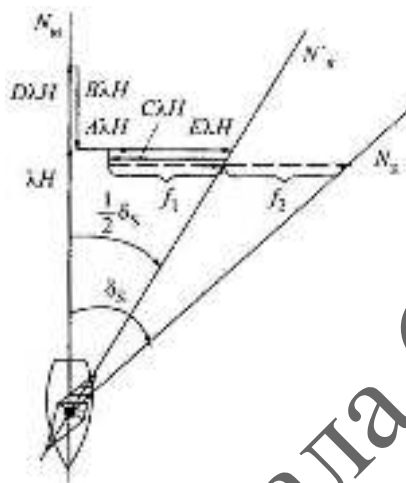


Рис. 42

Таким образом, практическое выполнение способа Эри заключается в следующем.

1. Лечь на магнитный курс $MK = 0^\circ$ и при помощи поперечных магнитов-уничтожителей довести наблюдаемую на этом курсе девиацию δ_N до нуля.

2. Лечь на магнитный курс $MK = 180^\circ$ и при помощи тех же поперечных магнитов-уничтожителей довести появившуюся на этом курсе девиацию δ_S до половинного значения. Сила $C\lambda H$ скомпенсирована.

3. Лечь на магнитный курс $MK = 90^\circ$ и при помощи продольных магнитов-уничтожителей довести наблюдаемую на этом курсе девиацию δ_E до нулевого значения.

4. Лечь на магнитный курс $MK = 270^\circ$ и при помощи тех же продольных магнитов-уничтожителей довести появившуюся на этом курсе девиацию δ_W до половинного значения. Сила $B\lambda H$ скомпенсирована.

Полукруговая девиация уничтожена.

Способ Эри прост в выполнении и не требует никаких дополнительных приборов. Единственной сложностью этого способа является необхо-

димось ложиться на магнитные курсы, так как непосредственно по компасу этого сделать невозможно.

Одним из способов приведения судна на заданный магнитный курс является использование курсового угла на створ. Как видно из рис. 4.3, при пересечении створной линии курсовой угол (КУ) определяется выражением

$$\text{КУ} = \text{МП} - \text{МК}. \quad (4.4)$$

Зная заданный магнитный курс и магнитный пеленг створа, рассчитываем курсовой угол. Пеленгатор устанавливается на нужный отсчет курсового угла по азимутальному кольцу. Судну задается такое направление движения, чтобы при пересечении створа визирная плоскость пеленгатора совпадала со створной линией.

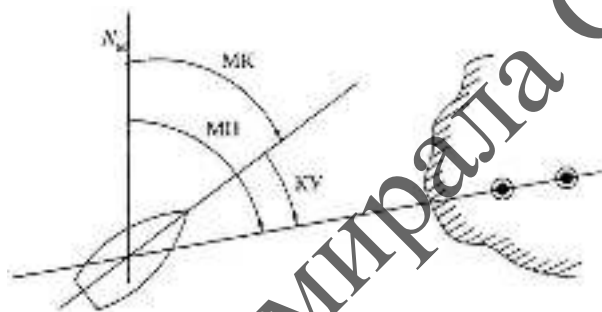


Рис. 4.3

Другим способом вывода судна на нужный магнитный курс является использование гирокомпаса. В этом случае курс по гирокомпасу рассчитывается по формуле

$$\text{ГК} = \text{МК} + d - \Delta\text{ГК}, \quad (4.5)$$

где ГК – курс по гирокомпасу;

d – магнитное склонение;

$\Delta\text{ГК}$ – поправка гирокомпаса.

При выполнении способа Эри с использованием гирокомпаса необходимо иметь в виду, что при маневрировании судна у гирокомпаса возникает инерционная девиация, которая особенно значительна в высоких широтах и при больших скоростях судна.

4.1.2. Способ Колонга

Способ Колонга предусматривает также компенсацию судовых магнитных сил $V\lambda H$ и $C\lambda H$ и измерение результирующих магнитных сил H на четырех главных компасных курсах, после чего эти силы продольными и поперечными магнитами-уничтожителями доводятся до величин, которые они имели бы при отсутствии сил $V\lambda H$ и $C\lambda H$. По сравнению со способом Эри данный способ менее точен, так как при его выполнении предполагается, что судовые магнитные силы $A\lambda H$ и $E\lambda H$ равны нулю. В действительности эти силы малы (для главного компаса, установленного на верхнем мостике), но не нулевые.

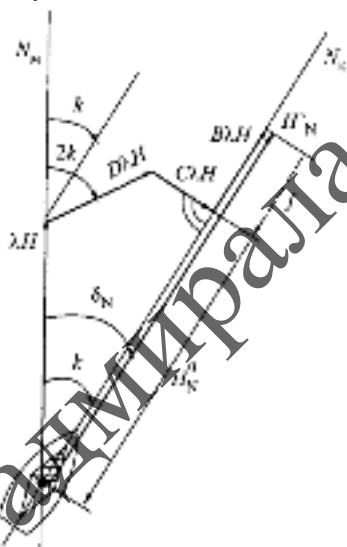


Рис. 4.4

Теоретическое обоснование рассматриваемого способа можно выполнить с помощью многоугольника сил. На рис. 4.4 показан многоугольник сил для $KK = 0^\circ$, откуда видно, что если с помощью продольных магнитов-уничтожителей результирующую силу H'_N довести до значения H^0_N , то судовая магнитная сила $V\lambda H$ будет скомпенсирована силой f . Однако это выполнить невозможно, так как неизвестна величина силы $V\lambda H$. Поэтому на $KK = 0^\circ$ выполняется только измерение результирующей силы H'_N при помощи детектора Колонга. Затем судно ложится на $KK = 180^\circ$, и производится измерение результирующей силы H'_S . Многоугольник сил для этого

курса приведен на рис 4.5, откуда видно, что полученный многоугольник сил зеркально симметричен многоугольнику сил на рис. 4.4. Это означает, что девиация на $КК = 180^\circ$ имеет такое же значение, как и на $КК = 0^\circ$, но с обратным знаком. Для компенсации судовой магнитной силы $B\lambda H$ требуется аналогичная сила f .

На основании рис. 4.4 и 4.5 можно записать:

$$H'_N = H^0_N + B\lambda H ; \quad (4.6)$$

$$H'_S = H^0_S - B\lambda H . \quad (4.7)$$

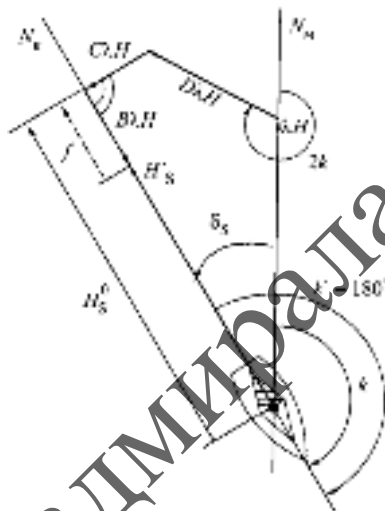


Рис. 4.5

Сложив равенства (4.6) и (4.7), получим

$$H'_N + H'_S = H^0_N + H^0_S \quad (4.8)$$

или учитывая, что $H^0_N = H^0_S = H^0_1$, где H^0_1 – значение результирующего вектора без судовой силы $B\lambda H$, который одинаков для $КК = 0^\circ$ и $КК = 180^\circ$, из равенства (4.8) имеем

$$H^0_1 = \frac{H'_N + H'_S}{2} . \quad (4.9)$$

Это означает, что для компенсации судовой магнитной силы $B\lambda H$ необходимо выполнить следующие действия:

- лечь на $КК = 0^\circ$ и измерить дефлектором результирующую силу H'_N ;

– лечь на $КК = 180^\circ$ и измерить дефлектором результирующую силу H'_S ;

– рассчитать по формуле (4.9) величину H^0_1 ;

– с помощью продольных магнитов-уничтожителей довести значение результирующей силы H'_S до величины, равной H^0_1 .

Аналогичным образом можно доказать, что среднее значение

$$H_2^0 = \frac{H'_E + H'_W}{2}. \quad (4.10)$$

Значит, чтобы компенсировать судовую магнитную силу $СЛH$, необходимо:

– лечь на $КК = 90^\circ$ и измерить дефлектором результирующую силу H'_E ;

– лечь на $КК = 270^\circ$ и измерить результирующую силу H'_W ;

– рассчитать по формуле (4.10) величину H^0_2 ;

– с помощью поперечных магнитов-уничтожителей довести значение результирующей силы H'_W до величины, равной H^0_2 .

В результате таких действий обе судовые магнитные силы ($ВЛH$ и $СЛH$), которые создают полукруговую девиацию, будут компенсированы.

4.1.3. Принцип измерения магнитных сил дефлектором

Для того чтобы уничтожить полукруговую девиацию способом Колонга, необходимо измерить с помощью специального прибора (дефлектора) горизонтальные магнитные силы. На рис. 4.6 схематично показан дефлектор Колонга, который состоит из измерительного магнита 1, вспомогательного магнита 3, шкалы 6 и индекса 7.

В общем случае картушка компаса 4 своей осью $N - S$ устанавливается вдоль вектора горизонтальной составляющей магнитного поля Земли (при отсутствии девиации) или вдоль вектора магнитного поля судна (при наличии девиации компаса). В этом случае под призмой пеленгатора 5 будет наблюдаться отсчет 180° .

Дефлектор устанавливается на компас таким образом, чтобы измерительный магнит 1 располагался вдоль силы, которую необходимо измерить (H или H'). При этом северный конец 2 магнита 1 должен быть направлен в сторону N компаса. Измерительный магнит в центре картушки (точка O) создает компенсирующую силу H_1 , которая направлена противоположно измеряемой силе. Перемещая измерительный магнит в вертикальной плоскости, можно изменять величину компенсирующей

силы H_1 . Если подобрать положение измерительного магнита таким образом, что $H = H_1$, то катушка своей осью N – S установится вдоль вектора H_2 , который создается вспомогательным магнитом 3. Так как вспомогательный магнит 3 расположен перпендикулярно измерительному магниту 1, то катушка развернется на 90° , т.е. под призмой пеленгатора будет виден W. Со шкалы 6 снимается величина измеряемой силы H или H' в условных единицах.

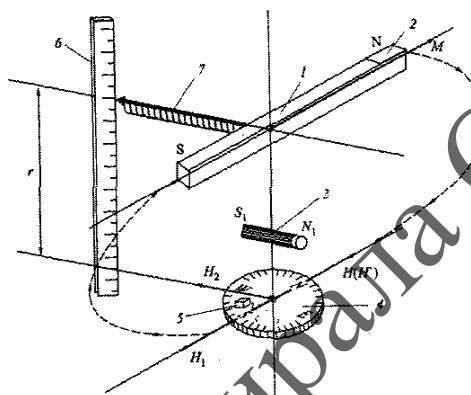


Рис. 4.6

Из выражения (1.18) видно, что величина компенсирующей силы будет обратно пропорциональна кубу расстояния r от катушки до измерительного магнита. Это означает, что шкала рассматриваемого дефлектора будет неравномерной.

Другой разновидностью дефлектора является прибор с равномерной шкалой, разработанный сотрудниками ЛВИМУ им. адм. С.О. Макарова. У этого дефлектора система измерительного устройства состоит из двух магнитов, которые поворачиваются таким образом, что изменяется угол между ними.

Контрольные вопросы

11. Компенсаторы широтной девиации представляют собой:

- горизонтальный стержень из твердого железа (см. пояснение 54);
- вертикальный стержень из твердого железа (см. пояснение 20);

- горизонтальный стержень из мягкого железа (см. пояснение 84);
 - вертикальный стержень из мягкого железа (см. пояснение 70).
12. Способ Эри используется для уничтожения:
- постоянной девиации (см. пояснение 62);
 - полукруговой девиации (см. пояснение 3);
 - четвертной девиации (см. пояснение 56).
13. При уничтожении полукруговой девиации компенсируются судовые магнитные силы:
- $A\lambda H$ (см. пояснение 38);
 - $B\lambda H$ (см. пояснение 81);
 - $C\lambda H$ (см. пояснение 21);
 - $D\lambda H$ (см. пояснение 15);
 - $E\lambda H$ (см. пояснение 76).
14. При уничтожении девиации способом Колонга судно должно ложиться:
- на главные магнитные курсы (см. пояснение 68);
 - на четвертные магнитные курсы (см. пояснение 57);
 - на главные компасные курсы (см. пояснение 40);
 - на четвертные компасные курсы (см. пояснение 28).
15. При уничтожении девиации сила $B\lambda H$ компенсируется:
- продольными магнитами-уничтожителями (см. пояснение 46);
 - поперечными магнитами-уничтожителями (см. пояснение 53);
 - вертикальными магнитами-уничтожителями (см. пояснение 23).

ЛЕКЦИЯ 4

4.2. Уничтожение четвертной девиации

Для того, чтобы у компаса не было четвертной девиации, необходимо скомпенсировать судовые силы $D\lambda H$ и $E\lambda H$. Так как эти силы создаются мягким железом, то и компенсаторы должны быть из мягкого железа. Причем эти компенсаторы могут иметь различную форму: шары, стержни, пластины и т.п. Располагаются они в верхней части нактоуза на уровне картушки магнитного компаса.

Условием отсутствия у компаса четвертной девиации являются следующие равенства:

$$D = D_c + D_k = 0; \quad (4.11)$$

$$E = E_c + E_k = 0, \quad (4.12)$$

где D ; E – остаточное значение коэффициентов четвертной девиации;

D_c ; E_c – коэффициенты четвертной девиации, создаваемые судовым железом;

D_k ; E_k – коэффициенты четвертной девиации, создаваемые компенсаторами.

В соответствии с равенствами (2.5) имеем

$$D_c = \frac{a_c - e_c}{2\lambda_c}. \quad (4.13)$$

Судовые параметры уравнения Пуассона a_c и e_c всегда имеют отрицательный знак, причем $e_c > a_c$. Это означает, что имеет место зависимость

$$D_c = \frac{(-a_c) - (-e_c)}{2\lambda_c}, \text{ т.е. } D_c > 0.$$

Значит, для того, чтобы скомпенсировать судовую силу $D\lambda H$, необходимо, чтобы компенсаторы создавали отрицательный компенсирующий коэффициент D_k .

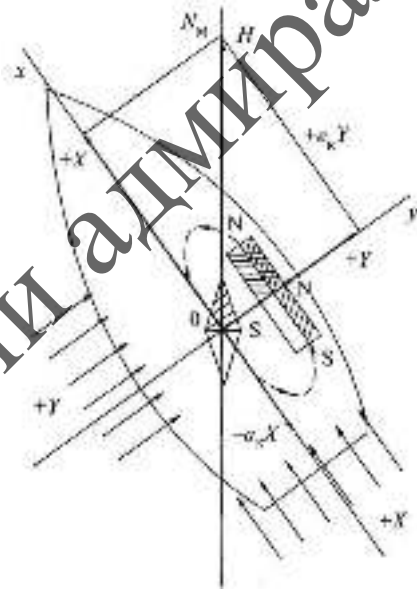


Рис. 4.7

На рис 4.7 приведен компенсатор четвертной девиации в виде продольного стержня из мягкого железа, который находится в магнитном поле Земли. Продольной составляющей $+X$ компенсатор намагничивается так, что северный полюс N расположен в сторону носа судна. В центре катушки (точка O) такой компенсатор создает силу $-a_k X$, т.е. формирует отрицательный коэффициент $-a_k$.

Поперечная составляющая магнитного поля Земли $+Y$ намагничивает компенсатор таким образом, что северный полюс N располагается справа, и он как источник собственного поля будет создавать силу $+e_k Y$, т.е. формировать положительный коэффициент $+e_k$. В данном случае для компенсационного коэффициента имеем

$$D_k = \frac{(-a_k) - (+e_k)}{2\lambda_k}, \text{ т.е. } D_k < 0.$$

Это означает, что элемент из мягкого железа, установленный вблизи магнитной системы компаса, способен скомпенсировать четвертную девиацию, если он создает компенсирующий коэффициент, по модулю равный судовому коэффициенту. Этому равенству добиваются подбором длины компенсатора.

Для компенсации судовой магнитной силы $E_{\text{ЛН}}$ не нужен отдельный компенсатор. Чтобы скомпенсировать эту силу, достаточно компенсатор четвертной девиации развернуть относительно ДП судна на угол

$$\alpha = 0,5 \arctg \frac{E_c}{D_c}. \quad (4.14)$$

При этом необходимо иметь в виду, что поворот по часовой стрелке создает отрицательный коэффициент девиации E_k , а поворот против часовой стрелки — положительный.

Как отмечалось ранее, компенсаторы четвертной девиации устанавливаются в непосредственной близости от магнитной системы компаса. Это означает, что мягкое железо компенсаторов будет намагничиваться не только магнитным полем Земли, но и полем магнитной системы компаса. Эта дополнительная намагниченность будет вызывать отклонение катушки компаса на величину, называемую *девиацией от индукции*. Величина этой девиации определяется выражением [2]:

$$\delta_{\text{ин}} = \frac{NM}{2\lambda H} (\alpha_x - 4\alpha_y) \sin 2KK, \quad (4.15)$$

где M – магнитный момент компаса;

N – постоянный коэффициент, имеющий значение

$$N = \frac{V\mu_0}{(4\pi)^2 r^6};$$

V – объем компенсатора;

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

r – расстояние от компенсатора до центра магнитной системы компаса;

α_x и α_y – магнитная восприимчивость компенсатора по осям x и y соответственно;

Анализ выражения (4.15) позволяет сделать следующие выводы:

– девиация от индукции имеет четвертной характер;

– коэффициент девиации от индукции определяется выражением

$$D_{\text{ин}} = \frac{NM}{2\lambda H} (\alpha_x - 4\alpha_y), \quad (4.16)$$

т.е. зависит от объема, качества материала и формы компенсатора, а также обратно пропорционален шестой степени расстояния до магнитной системы компаса;

– величина коэффициента девиации от индукции зависит от магнитной широты, так как с изменением района плавания меняется величина H .

В средних широтах девиация от индукции составляет $1 \dots 2^\circ$, а в высоких может достигать до 10° .

4.3. Безындукционные компенсаторы четвертной девиации

Из выражения (4.16) видно, что при выполнении равенства $\alpha_x = 4\alpha_y$, коэффициент девиации от индукции $D_{\text{ин}}$ будет равен нулю. Это означает, что в данном случае девиация от индукции возникать не будет. Коэффициенты магнитной восприимчивости компенсаторов четвертной девиации зависят от магнитной восприимчивости материала, из которого изготовлены эти компенсаторы, а также от коэффициентов размагничивания T_x и T_y , которые, в свою очередь, зависят от формы компенсаторов.

Для компенсатора в виде прямоугольной пластины, имеющей длину l и ширину b (рис. 4.8), коэффициенты T_x и T_y являются некоторыми функциями соотношения длины и ширины. Следовательно, и коэффициенты магнитной восприимчивости компенсаторов α_x и α_y также будут

функциями этого соотношения. Данные функциональные зависимости приведены на рис. 4.9.

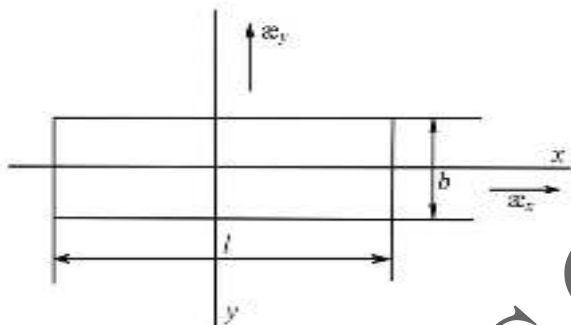


Рис. 4.8

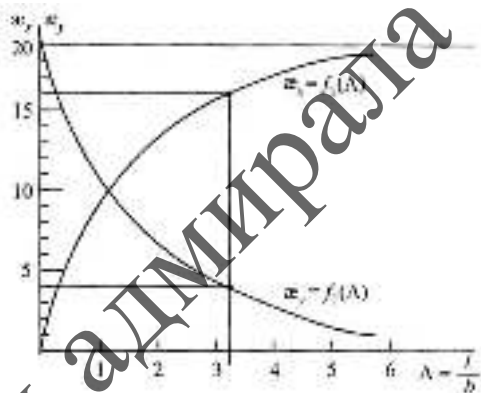


Рис. 4.9

Теоретические и экспериментальные исследования, которые были выполнены в ГМА им. адм. С.О. Макарова, позволили установить, что при $\frac{l}{b} \cong 3,2$ выполняется равенство $\alpha_x = 4\alpha_y$, которое является условием отсутствия девиации от индукции.

Таким образом, компенсаторы четвертной девиации в виде прямоугольных пластин определенного размера обеспечивают уничтожение четвертной девиации без создания девиации от индукции, т.е. являются безындукционными.

4.4. Уничтожение креновой девиации

При возникновении у судна крена или дифферента, а также в условиях качки меняется намагниченность судовых конструкций. В результате этого у компаса появляется погрешность, которая называется *креновой девиацией*.

4.4.1. Теория креновой девиации

Магнитные силы, которые действуют на компас при прямом положении судна, определяются уравнениями Пуассона (2.3). Так как параметры Пуассона неодинаковы по величине, то при рассмотрении влияния крена можно оставить только самые значительные из них: a , c , e , k . Остальные имеют более высокий порядок малости и ими можно пренебречь.

Тогда уравнения Пуассона будут:

$$\left. \begin{aligned} X' &= X + aX + cZ + P; \\ Y' &= Y + eY + Q; \\ Z' &= Z + kZ + R. \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

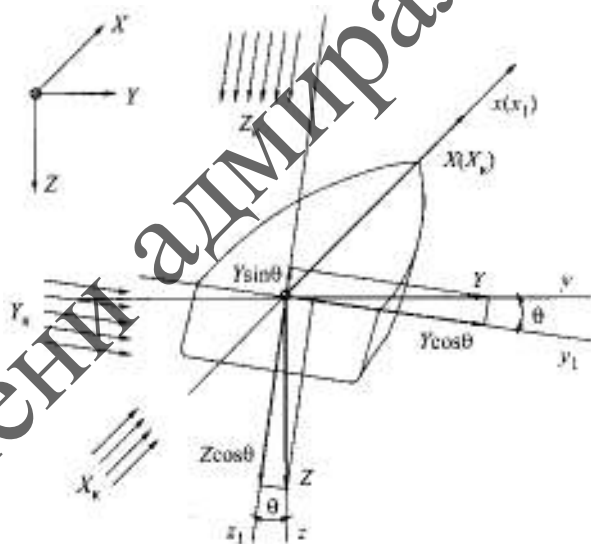


Рис. 4.10

Если у судна появится некоторый угол крена θ (рис. 4.10), то конструкции судна будут намагничиваться силами, являющимися проекциями

составляющих магнитного поля Земли X , Y и Z на оси x_1 , y_1 и z_1 , которые наклонились на угол θ :

$$\left. \begin{aligned} X_k &= X; \\ Y_k &= Y \cos \theta + Z \sin \theta; \\ Z_k &= Z \cos \theta - Y \sin \theta. \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

С учетом этих обозначений систему уравнений (4.17) можно записать следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} X'_k &= X_k + aX_k + cZ_k + P; \\ Y'_k &= Y_k + eY_k + Q; \\ Z'_k &= Z_k + kZ_k + R. \end{aligned} \right\} \quad (4.19)$$

Магнитные силы X'_k , Y'_k и Z'_k действуют на компас по наклонным осям x_1 , y_1 и z_1 (рис. 4.11), а сама картушка остается горизонтальной. Чтобы определить действие этих сил на картушку компаса, необходимо найти их проекции на оси x , y и z , лежащие в плоскости картушки. Тогда получим:

$$\left. \begin{aligned} X'' &= X'_k; \\ Y'' &= Y'_k \cos \theta - Z'_k \sin \theta; \\ Z'' &= Z'_k \cos \theta + Y'_k \sin \theta. \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

В уравнениях (4.20) силу Z'' можно не рассматривать, так как она действует перпендикулярно к плоскости картушки и девиации не вызывает.

Тогда с учетом выражений (4.19) после несложных преобразований для небольших углов крена, когда $\sin \theta \approx \theta$, а $\cos \theta \approx 1$, отбрасывая величины высокого порядка малости, окончательно имеем:

$$\left. \begin{aligned} X'' &= X + aX + cZ + P; \\ Y'' &= Y + eY + Q + [(e-k)Z - R]\theta. \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

Сравнивая полученные равенства (4.21) с уравнениями (4.17), можно заметить, что при наличии крена судна в плоскости картушки (по оси y) действует дополнительная сила

$$F_{k(y)} = [(e-k)Z - R]\theta, \quad (4.22)$$

которая приводит к возникновению креновой девиации. Как видно из выражения (4.22), сила $F_{k(y)}$, а, следовательно, и величина креновой девиации зависят от угла крена.

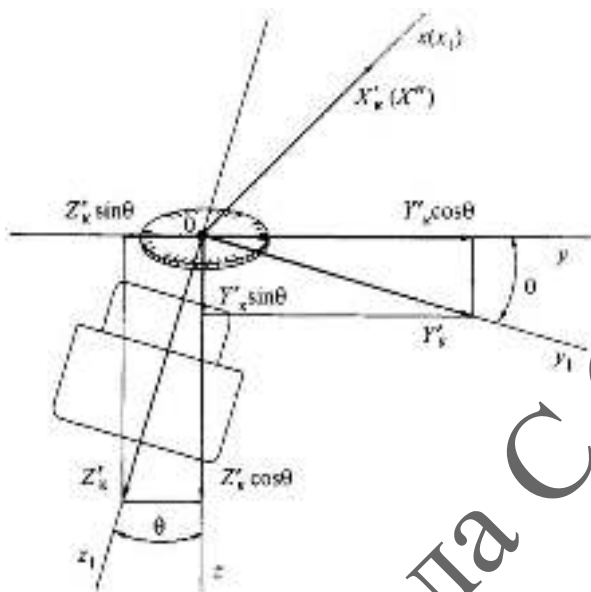


Рис. 4.11

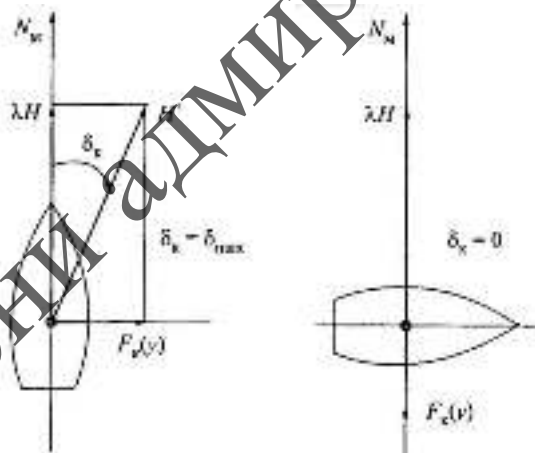


Рис. 4.12

На рис. 4.12 показано действие силы $F_{K(y)}$ на магнитных курсах 0° и 90° , откуда видно, что креновая девиация носит полукруговой характер.

4.4.2. Принцип уничтожения креновой девиации

Выражение (4.22) позволяет сделать вывод, что креновая девиация у компаса будет отсутствовать при выполнении условия

$$[(e - k)Z - R] = 0. \quad (4.23)$$

На рис. 4.13 показаны судовые вертикальные силы $[(e - k)Z]$ и $[R]$, которые, образуя проекции на горизонтальную ось y , непосредственно воздействуют на магнитную систему компаса и создают креновую девиацию. Если же выполняется равенство (4.23), то силы друг друга уравновешивают, и девиации не будет. Сила R создается вертикальным твердым железом. Если к ней добавить искусственно созданную вертикальным магнитом силу R_m , то равенство (4.23) примет вид

$$[(e - k)Z - (R + R_m)] = 0. \quad (4.24)$$



Рис. 4.13

Силу R_m необходимо подобрать таким образом, чтобы обеспечить равенство проекций сил, действующих на картушку компаса вдоль оси y вправо и влево.

Для реализации равенства (4.24) внутри нактоуза располагается вертикальный (креновой) магнит, который может перемещаться вверх, приближаясь к магнитной системе компаса, и вниз – удаляясь от нее.

Практическое выполнение уничтожения креновой девиации осуществляется с помощью инклинометра, который позволяет измерить магнитное наклонение I' в точке, где располагается центр картушки компаса.

Наклонение I' определяется выражением

$$\operatorname{tg} I' = \frac{Z'_E}{Y'_E}, \quad (4.25)$$

где Z'_E и Y'_E – судовые магнитные силы, которые определяются уравнениями Пуассона (4.17) для магнитного курса 90° или 270° .

Если у компаса уничтожена полукруговая девиация, т.е. магнитными уничтожителями скомпенсирована поперечная сила Q , то, с учетом того, что на указанных магнитных курсах составляющая магнитного поля Земли Y по величине равна H , после подстановки значений Z'_E и Y'_E из уравнений (4.17) в равенство (4.25), получим

$$\operatorname{tg} I'_E = \frac{(1+k)Z + R}{(1+e)Y}. \quad (4.26)$$

С учетом силы, которая создается креновым магнитом, равенство (4.26) запишется в виде

$$\operatorname{tg} I'_E = \frac{(1+k)Z + (R + R_m)}{(1+e)Y}. \quad (4.27)$$

Если теперь в выражение (4.27) подставить значение $(R + R_m)$, полученное из равенства (4.24):

$$[(R + R_m)] = (e - k)Z,$$

то после несложных преобразований имеем

$$\operatorname{tg} I'_E = \frac{(1+k)Z + (R + R_m)}{(1+e)Y} = \frac{(1+k)Z + (e - k)Z}{(1+e)Y} = \frac{(1+e)Z}{(1+e)Y} = \operatorname{tg} I.$$

Отсюда $I'_E = I$, (4.28)

где I – магнитное наклонение в данном районе (вне судна), значение которого можно снять с магнитной карты.

Последовательность работ по уничтожению креновой девиации:

- судно, не имеющее ни крена, ни дифферента, ложится на магнитный курс 90° (или 270°);
- вместо котелка магнитного компаса устанавливается инклинометр;

– перемещая креновой магнит вниз или вверх, добиваются того, чтобы показания инклинатора соответствовали значению магнитного наклона, снятому с магнитной карты для данного района.

4.5. Повышение точности магнитного компаса

Одним из основных требований, предъявляемых к магнитному компасу, является стабильность коэффициентов девиации во время плавания. Однако на практике, когда судно переходит из одного района в другой, возможны случаи, что фактическая девиация компаса отличается от той, которая взята из рабочей таблицы девиации. Как правило, это происходит из-за изменения полукруговой девиации.

4.5.1. Компенсация широтной девиации

Полукруговая девиация создается силами $B\lambda H$ и $C\lambda H$, каждая из которых состоит из двух слагаемых:

$$B\lambda H = cZ + P \text{ и } C\lambda H = fZ + Q$$

Слагаемые P и Q создаются твердым судовым железом, а слагаемые cZ и fZ – мягким вертикальным судовым железом, которое приобретает магнетизм под действием вертикальной составляющей Z магнитного поля Земли.

При уничтожении полукруговой девиации силы $B\lambda H$ и $C\lambda H$ компенсируются магнитами-уничтожителями. Если судно совершает переход с небольшим изменением магнитной широты, то это практически никак не сказывается на показаниях компаса, так как величина Z меняется незначительно. Если же в процессе плавания магнитная широта изменяется значительно, то в показаниях компаса появляется погрешность из-за изменения слагаемых cZ и fZ , которая получила название *широтной девиации*. Следовательно, чтобы судовые магнитные силы $B\lambda H$ и $C\lambda H$ оставались стабильными в продолжение всего плавания, их необходимо компенсировать не одним, а двумя компенсаторами (магнитами уничтожителями и широтным компенсатором).

Широтный компенсатор, устанавливаемый впереди нактоуза компаса в продольной плоскости, обеспечивает компенсацию силы cZ . Так как сила fZ мала, в поперечной плоскости компаса широтный компенсатор обычно не устанавливается.

На рис. 4.14 показано размещение магнитов-уничтожителей 1 и широтного компенсатора 2 .

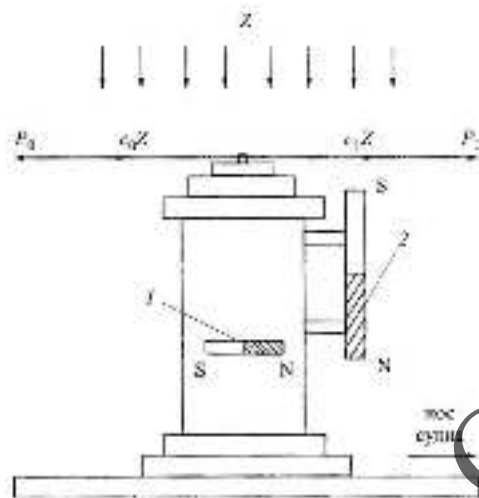


Рис. 4.14

Для правильного подбора размеров широтного компенсатора необходимо определить значение судового параметра e_0 опытным путем с помощью проведения соответствующих измерений на судне в двух различных магнитных широтах.

Широтный компенсатор изготовлен из мягкого железа и устанавливается вблизи магнитной системы компаса, поэтому он будет создавать девиацию от индукции. Во избежание этого широтный компенсатор выполняют из двух стержней, которые располагают в двух взаимно перпендикулярных плоскостях справа и слева от ДП судна под углом 45° .

Установка широтного компенсатора позволяет повысить точность показаний магнитного компаса при плавании в различных широтах.

4.5.2. Исправление таблицы девиации во время плавания

Если в процессе плавания окажется, что фактическая девиация магнитного компаса отличается от табличной более чем на 2° , то необходимо либо уточнить рабочую таблицу девиации, либо рассчитать ее заново. В этом случае для исправления рабочей девиации можно использовать два метода.

Первый метод применяется тогда, когда судоводитель убежден, что изменение девиации произошло из-за изменения коэффициентов полу-круговой девиации B и C . На практике чаще всего так и бывает. В этом

случае любым способом определяется девиация компаса на четырех главных компасных курсах по магнитному компасу (0° , 90° , 180° и 270°), а затем рассчитываются новые значения коэффициентов B и C по формулам:

$$B = \frac{\delta_{90} - \delta_{270}}{2}; \quad (4.29)$$

$$C = \frac{\delta_0 - \delta_{180}}{2}. \quad (4.30)$$

По полученным значениям коэффициентов B и C и прежним значениям коэффициентов A , D и E составляется более точная рабочая таблица девиации. При этом расчет ведется либо с использованием специальных бланков, либо по основной формуле девиации (3.4).

Второй метод уточнения рабочей таблицы девиации используется в том случае, когда есть подозрение, что кроме коэффициентов полукруговой девиации B и C изменился и коэффициент четвертной девиации D . Это, как правило, бывает, когда судно перевозит большое количество металлических грузов. В данном случае рекомендуется определить девиацию магнитного компаса на четырех четвертных компасных курсах по магнитному компасу (45° , 135° , 225° и 315°) по сравнению с гирокомпасом. Тогда для расчета коэффициентов B , C и D можно использовать следующие формулы:

$$\left. \begin{aligned} B &= \frac{1}{4}(СЛ_{45} + СЛ_{135} - СЛ_{225} - СЛ_{315}); \\ C &= \frac{1}{4}(СЛ_{45} - СЛ_{135} - СЛ_{225} + СЛ_{315}); \\ D &= \frac{1}{4}(СЛ_{45} - СЛ_{135} + СЛ_{225} - СЛ_{315}). \end{aligned} \right\} \quad (4.31)$$

где $СЛ_{45}$; $СЛ_{135}$; $СЛ_{225}$; $СЛ_{315}$ – значения сличений магнитного компаса с гирокомпасом на компасных курсах по магнитному компасу 45° , 135° , 225° и 315° .

Особенностью равенств (4.31) является то, что в них не входят ни погрешности гирокомпаса, ни магнитное склонение. Это очень удобно, если эти величины неизвестны.

Контрольные вопросы

16. Чтобы уничтожить четвертную девиацию, необходимо скомпенсировать судовые магнитные силы:
- $A\lambda H$ и $B\lambda H$ (см. пояснение 79);
 - $B\lambda H$ и $C\lambda H$ (см. пояснение 4);
 - $C\lambda H$ и $D\lambda H$ (см. пояснение 72);
 - $D\lambda H$ и $E\lambda H$ (см. пояснение 44).
17. Девиацию от индукции создают компенсаторы:
- полукруговой девиации (см. пояснение 83);
 - четвертной девиации в виде стержней (см. пояснение 12);
 - четвертной девиации в виде пластин (см. пояснение 74).
18. Креновая девиация имеет характер:
- постоянной девиации (см. пояснение 8);
 - полукруговой девиации (см. пояснение 37);
 - четвертной девиации (см. пояснение 52).
19. При уничтожении креновой девиации используется:
- дефлектор Колонга (см. пояснение 24);
 - дефлектор с равномерной шкалой (см. пояснение 43);
 - инклинатор (см. пояснение 5).
20. Для исправления в процессе плавания рабочей таблицы девиации необходимо пересчитать коэффициенты девиации:
- A (см. пояснение 61);
 - B и C (см. пояснение 30);
 - A ; B и D (см. пояснение 65).

ЛЕКЦИЯ 5

5. ИНДУКЦИОННЫЙ МАГНИТНЫЙ КОМПАС

В соответствии с требованиями международной морской организации (ИМО), все суда должны снабжаться магнитными компасами, которые не требуют электрического питания и являются автономными курсоуказателями.

В 1998 г. Комитетом ИМО по безопасности на море была принята резолюция MSC.86(70), которая разрешает в качестве дополнительного курсоуказателя иметь на судне индукционный компас, не имеющий магнитной системы. Так как чувствительным элементом этого компаса является фер-

розонд, который требует подключения к источнику электрической энергии, то такой компас уже не является автономным. Однако наличие у этого компаса электронных устройств позволяет автоматически исключать из показаний репитеров девиацию после выполнения полной циркуляции судна.

5.1. Принцип действия феррозонда

На рис. 5.1 показан феррозонд, выполненный в виде двух пермаллеевых сердечников, на которых уложены обмотки. На сердечниках уложены обмотки подмагничивания, к которым подводится переменное напряжение U_1 с частотой $f_1 = 400$ Гц. Обмотки включены встречно и последовательно друг другу. Протекающий через них одинаковый ток i_1 создает магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 . Так как эти магнитные потоки в любой полупериод противоположны друг другу, суммарный магнитный поток $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ всегда равен нулю.

Вторая обмотка, которая охватывает оба сердечника, является сигнальной. С нее снимается сигнал U_2 , величина которого определяется выражением

$$U_2 = - \frac{d\Phi_c}{dt} \quad (5.1)$$

где Φ_c – магнитный поток полезного сигнала, зависящий от горизонтальной составляющей H магнитной индукции поля Земли.

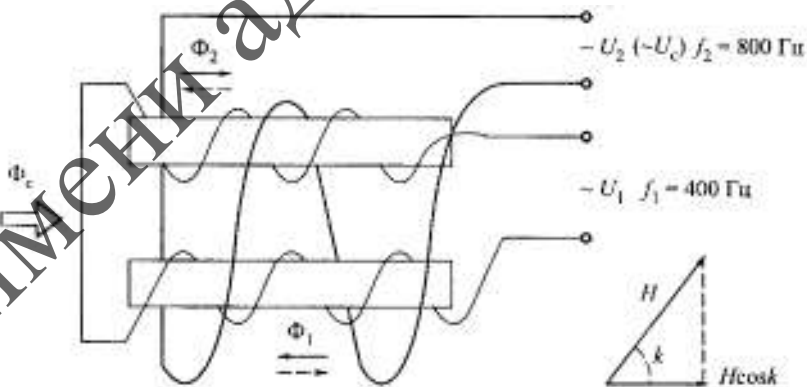


Рис. 5.1

С учетом того, что Φ_c характеризуется равенством $\Phi_c = m\mu H \cos k$, формула (5.1) приобретает вид:

$$U_2 = U_c = -mH \frac{d\mu}{dt} \cos k, \quad (5.2)$$

где m – конструктивный коэффициент;

μ – магнитная проницаемость сердечника;

H – горизонтальная составляющая магнитной индукции поля Земли;

k – магнитный курс судна, который определяет ориентацию сердечника.

Из равенства (5.2) видно, что на выходе сигнальной обмотки возникает сигнал только в том случае, когда имеется изменение магнитной проницаемости μ сердечника, т.е. когда $d\mu/dt \neq 0$. Циклическое изменение μ обеспечивается за счет питания подмагничивающей обмотки.

Создаваемые током i_1 магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 обеспечивают подмагничивание материала сердечников по закону гармонических колебаний с частотой 400 Гц. В середине каждого полупериода колебаний наблюдается магнитное насыщение, в момент которого μ резко уменьшается до нуля, а в промежутках μ возрастает до максимального значения μ_0 . Это означает, что сигнальную обмотку будет пронизывать пульсирующий магнитный поток с амплитудным значением $\mu = \mu_0$.

С сигнальной обмотки будет сниматься U_c в виде несколько искаженного переменного напряжения, имеющего частоту 800 Гц и амплитуду, пропорциональную H .

Для исключения квадратурной помехи применяется синхронное детектирование, поэтому окончательный сигнал, пропорциональный магнитному курсу судна, представляет собой напряжение постоянного тока.

В реальной схеме индукционного компаса используются два феррозонда, которые образуют узел, называемый *тесламетром*.

5.2. Индукционный компас на основе двухосевого тесламетра

На рис. 5.2 показана функциональная схема индукционного компаса, построенного на двухосевом тесламетре.

Информацией о курсе судна в таком компасе является отношение напряжений U_1 и U_2 , снимаемых с двух феррозондов, один из которых ориентирован вдоль диаметральной плоскости судна (ДП), а другой установлен перпендикулярно ДП. После прохождения фазочувствительного детектора (ФЧД) сигналы U_1 и U_2 в виде напряжений постоянного тока поступа-

ют в аналого-цифровой преобразователь (АЦП). На выходе АЦП имеем эти сигналы в цифровом виде (прямоугольные импульсы длительностью τ_1 и τ_2). Импульсы подаются на микропроцессор (МП), в котором осуществляется вычисление магнитного курса k .

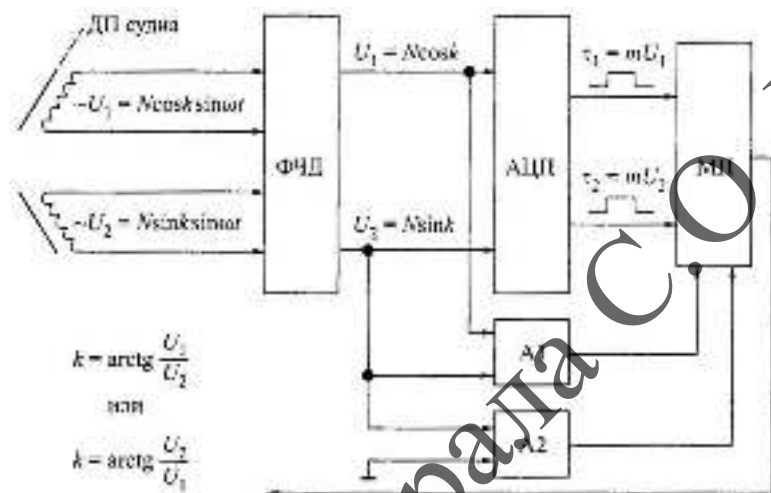


Рис. 5.2

Для определения рабочего сектора (всего их шесть) в схеме имеются два компаратора (A_1 и A_2).

Компаратор – это устройство, в котором происходит сравнение измеряемых величин.

Работа компараторов A_1 и A_2 осуществляется следующим образом. Компаратор A_1 сравнивает сигналы постоянного тока U_1 и U_2 и выдает значение либо «1», либо «0» в зависимости от соотношения этих сигналов:

- если $|U_1| < |U_2|$, то на выходе A_1 имеем значение «1»;
- если $|U_1| \geq |U_2|$, то на выходе A_1 имеем значение «0».

Компаратор A_2 сравнивает сигнал U_2 с нулевым потенциалом и вырабатывает следующие значения:

- если $U_2 < 0$, то на выходе A_2 имеем значение «1»;
- если $U_2 > 0$, то на выходе A_2 имеем значение «0».

В табл. 5.1 показан порядок работы компараторов и микропроцессора по определению курса судна.

Таблица 5.1

Включаемый сектор	Код		Алгоритм микропроцессора МИ	
	A_1	A_2		
$k = 0 \dots 45^\circ$	0	0	$\operatorname{arctg} \frac{U_1}{U_2} = S$	если $S < 0$, $k = S + 180^\circ$ если $S > 0$, $k = S + 180^\circ$
$k = 45 \dots 135^\circ$	1	0	$\operatorname{arctg} \frac{U_2}{U_1} = S$	
$k = 135 \dots 180^\circ$	0	0	$\operatorname{arctg} \frac{U_1}{U_2} = S$	
$k = 180 \dots 225^\circ$	0	1	$\operatorname{arctg} \frac{U_1}{U_2} = S$	если $S < 0$, $k = S + 360^\circ$ если $S > 0$, $k = S + 360^\circ$
$k = 225 \dots 315^\circ$	1	1	$\operatorname{arctg} \frac{U_2}{U_1} = S$	
$k = 315 \dots 360^\circ$	0	1	$\operatorname{arctg} \frac{U_1}{U_2} = S$	

Микропроцессор решает задачу по определению курса судна. Одновременно вычисляется модуль суммарного магнитного поля H . На реальном судне индукционный компас, так же, как и стрелочный, определяет направление не магнитного меридиана, а компасного. Это означает, что в показаниях компаса присутствует девиация, которую необходимо уменьшать до минимального значения. В некоторых индукционных компасах имеются, как и у обычных компасов, устройства для уничтожения девиации. Если же компас предназначен для установки на судах, где девиация невелика, то у компаса имеется электронное устройство для автоматического исключения девиации из показаний репитеров.

5.3. Метод автоматического определения и учета остаточной девиации индукционного компаса

Этот метод реализован в компасе ДС-83 («Горизонт»), выпускаемом Чебоксарским заводом «Элара».

Сущность метода можно пояснить с помощью первых двух уравнений Пуассона (2.3):

$$X' = X + aX + bY + cZ + P;$$

$$Y' = Y + dX + eY + fZ + Q.$$

Принимая $X = H\cos k$ и $Y = H\sin k$, где k – магнитный курс судна МК, получим:

$$X' = H(1+a)\cos k + bH\sin k + cZ + P;$$

$$Y' = H(1+e)\sin k + dH\cos k + fZ + Q$$

или

$$X' + Y' = H(1+a+d)\cos k + H(1+e+b)\sin k + (cZ + P) + (fZ + Q). \quad (5.3)$$

Выражение (5.3) геометрически можно интерпретировать как уравнение эллипса. Действительно, если задать эллипс уравнениями в параметрическом виде:

$$x = m\cos t + r;$$

$$y = n\sin t + s,$$

где t – параметр эллипса; m, n – полуоси эллипса; r, s – координаты центра эллипса,

то уравнение эллипса будет иметь вид

$$x + y = m\cos t + n\sin t + r + s. \quad (5.4)$$

Из сравнения равенств (5.3) и (5.4) можно определить параметры эллипса, описываемого уравнением (5.3):

– полуоси эллипса: $m = H(1+a+d)$;

$$n = H(1+e+b);$$

– смещение центра эллипса:

$$\text{по оси } X' \quad r = cZ + P;$$

$$\text{по оси } Y' \quad s = fZ + Q.$$

Эллипс изображен на рис. 5.3. Из рисунка видно, что большая полуось отклонена на угол α относительно оси OX' . Этот эллипс можно рассматривать как голограф суммарного вектора индукции H^∇ магнитных полей Земли и судна при циркуляции судна.

Голограф – это кривая, которую описывает конец вектора, изменяющего свое направление и величину.

Уравнение эллипса относительно системы координат XOY имеет вид:

$$\frac{X^2}{m^2} + \frac{Y^2}{n^2} = 1.$$

Чтобы получить уравнение эллипса в системе координат $X'O'Y'$, необходимо последовательно перенести центр эллипса на величину $r = cZ + P$,

затем на величину $s = fZ + Q$, а потом развернуть его на угол α . Тогда получим

$$\begin{aligned} & \frac{[(X' + cZ + P) \cos \alpha + (Y' + fZ + Q) \sin \alpha]^2}{m^2} + \\ & + \frac{[(Y' + fZ + Q) \cos \alpha + (X' + cZ + P) \sin \alpha]^2}{n^2} = 1. \end{aligned} \quad (5.5)$$

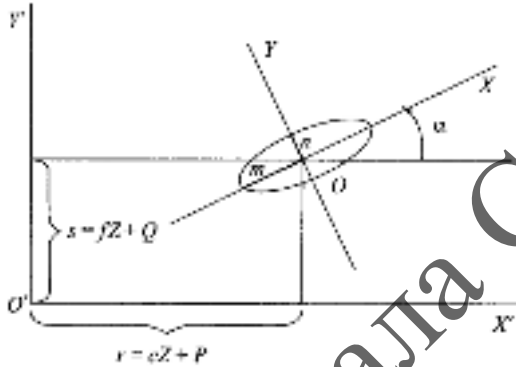


Рис. 5.3

При выполнении циркуляции судна, когда компас работает в режиме «калибровка», тесламетрами автоматически измеряются пять пар значений X' и Y' на пяти равноудаленных значениях компасных курсов, по которым в вычислителе определяются пять пар значений суммарной магнитной индукции:

$$H^{\nabla} = \sqrt{(X')^2 + (Y')^2}.$$

По измеренным значениям X' и Y' формируются пять уравнений (5.5), решение которых дает значения пяти неизвестных величин: $cZ + P$; $fZ + Q$; m ; n и α .

Полученные значения m и n используются для определения значения горизонтальной составляющей магнитной индукции поля Земли H_0 . Формула для нахождения H_0 получается из сравнения площади эллипса, равной $\pi m n$, с площадью эквивалентного круга, равной πR^2 . Причем радиус этого круга равен H_0 . Тогда имеем

$$\pi m n = \pi H_0^2,$$

откуда

$$H_0 = \sqrt{mn} . \quad (5.6)$$

Когда после выполнения циркуляции в блоке памяти параметры равны $cZ + P$; $fZ + Q$ и H_0 , схема компаса переводится в рабочий режим, и в вычислителе определяются текущие значения $\Delta X'$ и $\Delta Y'$ по формулам:

$$\Delta X' = (cZ + P) + (X' - H_0);$$

$$\Delta Y' = (fZ + Q) + (Y' - H_0).$$

Поправки $\Delta X'$ и $\Delta Y'$ добавляются к непрерывно измеряемым тесламетрами величинам X' и Y' и вычисляется магнитный курс судна

$$k = \arctg \frac{Y' + \Delta Y'}{X' + \Delta X'} . \quad (5.7)$$

5.4. Использование магнитометра для уничтожения девиаций морских магнитных компасов

В рассмотренном в п. 5.3 методе определения и учета остаточной девиации индукционного компаса роль чувствительного элемента выполняет двухосевая тесламетр. Этот метод позволяет исключить из показаний компаса полукруговую и четвертную девиации.

Необходимо иметь в виду, что такая методика срабатывает только в том случае, когда составляющие магнитного поля Земли больше аналогичных составляющих магнитного поля судна. По этой причине Правилами Российского морского регистра судоходства (далее – Правила РМРС) предусмотрено требование, согласно которому в состав индукционных компасов должны входить компенсаторы девиации. Из отечественных компасов только магнитный компас КФ-1 НПО «Нави – Далс» соответствует этому требованию.

В работе [3] предлагается использовать аналогичный метод для уничтожения всех видов девиаций магнитного компаса с чувствительным элементом в виде магнитной системы. Для измерения магнитного поля судна в зоне размещения магнитной системы компаса предлагается использовать однокомпонентный магнитометр типа НВ 0599Б. Анализ возможности использования магнитометра подобного рода измерений показывает, что поле магнитов-уничтожителей полукруговой девиации практически не влияет на датчик магнитометра. Это означает, что магнитометр НВ 0599Б можно использовать при выполнении девиационных работ.

Прежде всего, необходимо на берегу в месте, свободном от магнитных полей, провести измерение горизонтальной H и вертикальной Z составляющих индукции магнитного поля Земли. Ориентировочные значения H и Z для некоторых районов приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Район	H , мк·Тл	Z , мк·Тл
Баренцево, Белое море	11	50
Балтийское море	15	47
Черное, Каспийское море	23	40
Охотское, Берингово море	22	40
Японское море	24	40

5.4.1. Предварительное уменьшение полукруговой и креновой девиации

Предварительное уменьшение полукруговой девиации выполняется при стоянке судна в порту по измерениям, выполненным магнетометром на одном магнитном курсе k . Принцип этого метода заключается в следующем. Уравнение Пуассона для проекций всех магнитных сил на оси координат, связанных с судном, имеет вид:

$$\begin{aligned} X'' &= X + aX + bY + cZ + P; \\ Y'' &= Y + dX + eY + fZ + Q \end{aligned} \quad (5.8)$$

или, принимая

$$X = H \cos k \quad \text{и} \quad Y = H \sin k, \quad (5.9)$$

получим:

$$\begin{aligned} X'' &= H \cos k + a H \cos k + b H \sin k + cZ + P; \\ Y'' &= H \sin k + d H \cos k + e H \sin k + fZ + Q, \end{aligned} \quad (5.10)$$

где H – величина горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, которая была измерена на берегу.

Зная КК судна, по гирокомпасу можно определить значение магнитного курса:

$$k = \text{КК} - \Delta \text{ГК} - d, \quad (5.11)$$

где КК – компасный курс по гирокомпасу;

Δ ГК – поправка гирокомпаса;

d – магнитное склонение.

Затем можно вычислить:

$$\begin{aligned} X &= H \cos k; \\ Y &= H \sin k. \end{aligned} \quad (5.12)$$

Далее вместо котелка магнитного компаса устанавливается держатель датчика магнитометра, который изготовлен таким образом, что центр датчика магнитометра совпадает с точкой, где располагается центр магнитной системы компаса. Горизонтальность датчика магнитометра определяется с помощью кругового уровня, расположенного на держателе. Гнезда на держателе позволяют устанавливать магнитометр в три положения для измерения горизонтальных составляющих X и Y , а также вертикальной составляющей Z индукции суммарного магнитного поля судна.

Определив значение X и Y по формулам (5.12) для курса судна, на котором оно находится, стоя у причала, добиваемся с помощью продольных и поперечных магнитов-уничтожителей, чтобы показания магнитометра совпадали с расчетными величинами X и Y .

В этом случае будут скомпенсированы не только слагаемые в равенствах (5.10), которые создают полукруговую девиацию ($cZ + P$) и ($fZ + Q$), но и создающие четвертную девиацию ($aH \cos k$; $bH \sin k$; $dH \cos k$; и $eH \sin k$). Поэтому данный способ уменьшения полукруговой девиации является приближенным. Однако, учитывая, что, как правило, четвертная девиация не превышает 5° , указанный способ уменьшения полукруговой девиации можно считать вполне приемлемым.

Предварительное уменьшение креновой девиации выполняется на ходу судна на девиационном полигоне. При этом углы качки не должны быть более 3° . Выполняются работы на магнитном курсе $k = 90^\circ \pm 5^\circ$ или $k = 270^\circ \pm 5^\circ$. Магнитометр устанавливается в держателе вертикально. Затем с помощью кренового магнита показания магнитометра доводятся до значения, равного величине λZ , где Z – значение вертикальной составляющей индукции магнитного поля Земли, измеренное на берегу; λ – коэффициент экранирования компаса от магнитного поля Земли судовыми металлическими элементами (при первичных девиационных работах принимаем $\lambda = 0,9$ для главного магнитного компаса и $\lambda = 0,7$ – для путевого).

5.4.2. Уничтожение четвертной, креновой и полукруговой девиации

В работе [3] доказано, что, несмотря на то, что четвертная девиация имеет максимальное значение не только на главных, но и на четвертных магнитных курсах, для ее уничтожения достаточно измерить величину X' и Y' – на главных магнитных курсах (0° ; 90° ; 180° и 270°) при снятых пластинах компенсатора четвертной девиации. Тогда значение коэффициентов D , E и λ можно вычислить по следующим формулам:

$$D = \frac{(X'_0 - X'_{180}) - (Y'_{270} - Y'_{90})}{(X'_0 - X'_{180}) + (Y'_{270} - Y'_{90})}; \quad (5.13)$$

$$E = \frac{(X'_{270} - X'_{90}) + (Y'_0 - Y'_{180})}{(X'_0 - X'_{180}) + (Y'_{270} - Y'_{90})}; \quad (5.14)$$

$$\lambda = \frac{(X'_0 - X'_{180}) + (Y'_{270} - Y'_{90})}{4H}, \quad (5.15)$$

где $X'_0; X'_{90}; X'_{180}; X'_{270}$ – значения X' , измеренные на главных магнитных курсах;

$Y'_0; Y'_{90}; Y'_{180}; Y'_{270}$ – значения Y' , измеренные на главных компасных курсах;

H – значение горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, которая была измерена на берегу.

Учитывая, что при изменении курса судна большие массы судовых конструкций мгновенно не смогут перемагнититься, показания магнитометра необходимо снимать не ранее, чем через 3 мин после того, как судно ляжет на заданный курс.

Для компасов КМ-145, КМ-П, УКП-М значение коэффициента D_y , который будет служить для расчета количества пластин в компенсаторе четвертной девиации, определяется выражением

$$D_y = \sqrt{D^2 + E^2}. \quad (5.16)$$

Если рассчитанное по формуле (5.14) значение коэффициента $E > 1^\circ$, то угол, на который необходимо повернуть пластины компенсатора четвертной девиации, определяется равенством

$$\alpha = 0,5 \arcsin \frac{E}{D}. \quad (5.17)$$

При $E > 0$ поворот выполняется по часовой стрелке, при $E < 0$ – против часовой стрелки.

Затем по величине D_y определяется количество пластин, которое должно быть в компенсаторе четвертной девиации.

Для компасов КМ-115 количество пластин определяется величиной D , рассчитанной по формуле (5.13), а коэффициент E не компенсируется.

Уничтожение креновой девиации выполняется на магнитном курсе $k = 90^\circ \pm 5^\circ$ или $k = 270^\circ \pm 5^\circ$, на котором показания магнитометра за счет перемещения кренового магнита доводятся до значения, равного λZ . Величина коэффициента λ определяется выражением (5.15), а значение Z было определено при измерениях на берегу.

Для уничтожения полукруговой девиации необходимо измерить значения X' на магнитных курсах 0° и 180° , а также значения Y' на магнитных курсах 90° и 270° . Тогда из первого равенства уравнений (5.10) получим:

$$\begin{aligned} X'_0 &= H + aH + cZ + P; \\ X'_{180} &= -H - aH + cZ + P, \end{aligned} \quad (5.18)$$

а из второго равенства уравнений (5.10) имеем:

$$\begin{aligned} Y'_{90} &= -H - eH + fZ + Q; \\ Y'_{270} &= H + eH + fZ + Q. \end{aligned} \quad (5.19)$$

Суммируя попарно равенства уравнений (5.18) и (5.19), получим:

$$(cZ + P) = \frac{(X'_0 + X'_{180})}{2}; \quad (5.20)$$

$$(fZ + Q) = \frac{(Y'_{90} + Y'_{270})}{2}. \quad (5.21)$$

Подставляя в равенства (5.20) и (5.21) результаты измерений магнитометром на главных магнитных курсах, получим значения членов уравнений Пуассона, которые создают полукруговую девиацию. Затем на магнитном курсе $k = 0$ или $k = 180^\circ$ продольными магнитами-уничтожителями компенсируем величину $(cZ + P)$, а на магнитном курсе $k = 90^\circ$ или $k = 270^\circ$ поперечными магнитами-уничтожителями – величину $(fZ + Q)$. Компенсацию необходимо выполнять с точностью до $\pm 0,1$ мкТл.

После уничтожения полукруговой девиации следует еще раз измерить X'_0 ; X'_{180} ; Y'_{90} ; Y'_{270} и, подставив значение этих величин в равенство (5.15), найти точное значение коэффициента λ .

5.4.3. Расчет коэффициентов и составление таблицы остаточной девиации

Как видно из равенств (5.13) и (5.14), коэффициенты четвертной девиации D и E могут быть вычислены по результатам измерения X' и Y' на четырех главных магнитных курсах. В работе [3] доказано, что и коэффициенты A , B и C также могут быть вычислены с использованием результатов измерений:

$$A = \frac{(Y'_0 - Y'_{180}) - (X'_{270} - X'_{90})}{(X'_0 - X'_{180}) + (Y'_{270} - Y'_{90})}; \quad (5.22)$$

$$B = \frac{2(X'_0 + X'_{180})}{(X'_0 - X'_{180}) + (Y'_{270} - Y'_{90})}; \quad (5.23)$$

$$C = \frac{2(Y'_{90} + Y'_{270})}{(X'_0 - X'_{180}) + (Y'_{270} - Y'_{90})}. \quad (5.24)$$

Таким образом, используя результаты измерений X' и Y' , выполненные после уничтожения всех видов девиаций на четырех главных магнитных курсах, можно рассчитать значения всех пяти коэффициентов девиации по формулам (5.13), (5.14), (5.22) – (5.24).

Правилами штурманской службы устанавливаются максимально допустимые значения коэффициентов остаточной девиации, приведенных в табл. 5.3. Правилами РМРС определяются допустимые значения остаточной девиации: для главных компасов $\pm 3^\circ$; для путевых – $\pm 5^\circ$.

Таблица 5.3

Компасы	К о э ф ф и ц и е н т ы				
	A	B	C	D	E
Главный		$\pm 1,2^\circ$	$\pm 1,2^\circ$	$\pm 1,2^\circ$	$\pm 1,2^\circ$
Путевой	$\pm 1^\circ$	$\pm 1,5^\circ$	$\pm 1,5^\circ$	$\pm 1,5^\circ$	$\pm 1,5^\circ$

Расчет таблицы остаточной девиации выполняется по формуле

$$\delta = A + B \sin \text{КК} + C \cos \text{КК} + D \sin 2\text{КК} + E \cos 2\text{КК}, \quad (5.25)$$

где A , B , C , D , E – коэффициенты остаточной девиации в градусах.

Необходимо иметь в виду, что равенство (5.25) справедливо, если величина девиации не превышает 6° .

Контрольные вопросы

21. Обмотки, уложенные на сердечниках феррозонда, создают магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 , которые:

- имеют одинаковое направление (см. пояснение 35);
- направлены навстречу друг другу (см. пояснение 51);
- сдвинуты относительно друг друга на $\pi/2$ (см. пояснение 26).

22. Тесламетром называется узел, который состоит:

- из одного феррозонда (см. пояснение 6);
- из двух феррозондов (см. пояснение 59);
- из трех феррозондов (см. пояснение 32).

23. Индукционный компас, установленный на металлическом судне, определяет направление:

- магнитного меридиана (см. пояснение 48);
- компасного меридиана (см. пояснение 13);
- истинного меридиана (см. пояснение 63).

24. Должен ли (да или нет) индукционный компас иметь устройства для уничтожения девиаций компаса:

- да (см. пояснение 42);
- нет (см. пояснение 17).

25. При уничтожении девиации магнитного компаса с помощью магнитометра предварительное уменьшение полукруговой девиации выполняется:

- при стоянке судна в порту (см. пояснение 34);
- в море на ходу судна на магнитных курсах 0° и 180° (см. пояснение 27);
- в море на ходу судна на магнитных курсах 90° и 270° (см. пояснение 7).

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

1. Магнитный момент магнита имеет размерность:

- а) $H M A^{-1}$;
- б) $H M^1 A^{-1}$;
- в) $A M^2$;
- г) $A M^2$.

2. Линии, соединяющие на магнитной карте точки с одинаковым магнитным наклоном, называются:

- а) изодинами;
- б) изогонами;
- в) изоклинами.

3. Направляющий момент магнитного компаса зависит:

- а) от магнитного момента магнита;
- б) от момента сухого трения в подвесе;
- в) от магнитной широты.

4. В уравнение Пуассона входят магнитные силы, которые создаются магнитным полем Земли, мягким и твердым судовым железом. Силы P , Q , R создаются:

- а) магнитным полем Земли;
- б) мягким судовым железом;
- в) твердым судовым железом.

5. В уравнение Пуассона входят магнитные силы, которые создаются магнитным полем Земли, мягким и твердым судовым железом. Силы X , Y , Z создаются:

- а) магнитным полем Земли;
- б) мягким судовым железом;
- в) твердым судовым железом.

6. Судовым железом (мягким и твердым) создаются судовые магнитные силы, наличие которых приводит к возникновению постоянной, полукруговой или четвертной девиации. От судового твердого железа возникает:

- а) постоянная девиация;
- б) полукруговая девиация;
- в) четвертная девиация.

7. На магнитную систему компаса действуют силы λH , $A\lambda H$, $B\lambda H$, $C\lambda H$, $D\lambda H$ и $E\lambda H$. Какая из этих сил не создает девиацию:

- а) λH ; б) $A\lambda H$; в) $B\lambda H$; д) $C\lambda H$; е) $D\lambda H$; ж) $E\lambda H$.

8. В основную формулу девиации:

$$\delta = A + B \sin KK + C \cos KK + D \sin 2KK + E \cos 2KK,$$

входят коэффициенты девиации. Коэффициентами постоянной девиации являются:

- а) A ; б) B ; в) C ; г) D ; д) E .

9. В основную формулу девиации:

$$\delta = A + B \sin KK + C \cos KK + D \sin 2KK + E \cos 2KK,$$

входят коэффициенты девиации. Коэффициентами полукруговой девиации являются:

- а) A ; б) B ; в) C ; г) D ; д) E .

10. В основную формулу девиации:

$$\delta = A + B \sin KK + C \cos KK + D \sin 2KK + E \cos 2KK,$$

входят коэффициенты девиации. Коэффициентами четвертной девиации являются:

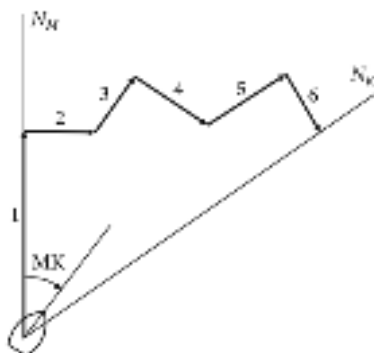
- а) A ; б) B ; в) C ; г) D ; д) E .

11. Многоугольник сил позволяет определить направление:

- а) магнитного меридиана;
б) компасного меридиана;
в) истинного меридиана.

12. На рисунке изображен многоугольник сил для $MK = 30^\circ$, где судовая магнитная сила λH обозначена:

- а) индексом 1; б) индексом 2; в) индексом 3; г) индексом 4; д) индексом 5; е) индексом 6.



13. На рисунке в вопросе 12 изображен многоугольник сил для $MK = 30^\circ$.

Судовая магнитная сила $D\lambda H$ на этом рисунке обозначена:

- а) индексом 1;
- б) индексом 2;
- в) индексом 3;
- г) индексом 4;
- д) индексом 5;
- е) индексом 6.

14. Мягким горизонтальным судовым железом создается:

- а) постоянная девиация;
- б) полукруговая девиация;
- в) четвертная девиация;
- г) широтная девиация.

15. Твердым судовым железом создается:

- а) постоянная девиация;
- б) полукруговая девиация;
- в) четвертная девиация;
- г) широтная девиация.

16. Компенсаторы постоянной части полукруговой девиации изготовлены:

- а) из твердого железа;
- б) из мягкого железа.

17. Компенсаторы четвертной девиации изготовлены:

- а) из твердого железа;
- б) из мягкого железа.

18. Компенсаторы широтной девиации изготовлены:

- а) из твердого железа;
- б) из мягкого железа.

19. Способ Колонга применяется для уничтожения:

- а) постоянной девиации;
- б) четвертной девиации;
- в) креновой девиации;
- г) полукруговой девиации.

20. Если скомпенсировать судовые магнитные силы $B\lambda H$ и $C\lambda H$, то у компаса будет уничтожена:

- а) постоянная девиация;
 - б) четвертная девиация;
 - в) полукруговая девиация;
 - г) креновая девиация.
21. При уничтожении девиации способом Эри судно ложится:
- а) на главные магнитные курсы;
 - б) на четвертные магнитные курсы;
 - в) на главные компасные курсы;
 - г) на четвертные компасные курсы.
22. Сила $C_{\Delta H}$ компенсируется:
- а) продольными магнитами-уничтожителями;
 - б) поперечными магнитами-уничтожителями;
 - в) вертикальным магнитом-уничтожителем.
23. При уничтожении девиации способом Колонга с помощью дефлектора измеряется:
- а) горизонтальная составляющая магнитного поля судна;
 - б) вертикальная составляющая магнитного поля судна;
 - в) полный вектор магнитного поля судна.
24. Четвертная девиация создается:
- а) мягким горизонтальным судовым железом;
 - б) мягким вертикальным судовым железом;
 - в) твердым вертикальным судовым железом;
 - г) твердым горизонтальным судовым железом.
25. Компенсаторы четвертной девиации выполнены в виде:
- а) горизонтальных магнитов-уничтожителей;
 - б) вертикальных магнитов-уничтожителей;
 - в) горизонтальных стержней из мягкого железа;
 - г) вертикальных стержней из мягкого железа;
 - д) горизонтальных пластин из мягкого железа.
26. Безындукционные компенсаторы четвертной девиации выполнены в виде:
- а) горизонтальных магнитов-уничтожителей;
 - б) вертикальных магнитов-уничтожителей;
 - в) горизонтальных стержней из мягкого железа;
 - г) вертикальных стержней из мягкого железа;
 - д) горизонтальных пластин из мягкого железа.

27. Креновая девиация возникает потому, что при крене судна на компас оказывают влияние силы от намагничивания судовых конструкций:

- а) продольной составляющей X магнитного поля Земли;
- б) поперечной составляющей Y магнитного поля Земли;
- в) вертикальной составляющей Z магнитного поля Земли.

28. Компенсаторы креновой девиации выполнены в виде:

- а) горизонтальных магнитов уничтожителей;
- б) вертикальных магнитов уничтожителей;
- в) горизонтальных стержней из мягкого железа;
- г) вертикальных стержней из мягкого железа;
- д) горизонтальных пластин из мягкого железа.

29. Уничтожение креновой девиации выполняется на магнитных курсах:

- а) 0° и 180° ;
- б) 45° и 225° ;
- в) 90° и 270° ;
- г) 135° и 315°

30. Широтная девиация возникает из-за изменения намагничивания:

- а) твердого горизонтального железа;
- б) твердого вертикального железа;
- в) мягкого горизонтального железа;
- г) мягкого вертикального железа.

31. Феррозонд имеет:

- а) одну обмотку;
- б) две обмотки;
- в) три обмотки.

32. С сигнальной обмотки феррозонда снимается сигнал, величина которого зависит:

- а) от магнитного потока подмагничивания Φ ;
- б) от магнитной проницаемости сердечника μ ;
- в) от тока подмагничивания;
- г) от магнитного курса судна.

33. В составе индукционного компаса имеются два компаратора, которые предназначены:

- а) для выпрямления напряжений переменного тока, поступающих от феррозондов;

- б) для сравнения напряжений, поступающих от феррозондов;
- в) для усиления сигналов, поступающих от феррозондов.

34. Метод автоматического исключения девиации из показаний репитера курса используется в том случае, когда компас установлен:

- а) на любом судне;
- б) на судне, где девиация более 20° ;
- в) на судне, где девиация невелика.

35. В каком из ответов правильно указана последовательность выполнения работ при уничтожении девиации магнитного компаса с помощью магнитометра?

- а) предварительное уменьшение полукруговой и креновой девиации; уничтожение креновой, полукруговой и четвертной девиации;
- б) предварительное уменьшение полукруговой и креновой девиации; расчет коэффициентов девиации; составление таблицы остаточной девиации: уничтожение креновой, полукруговой и четвертной девиации.
- в) предварительное уменьшение полукруговой и креновой девиации; составление таблицы остаточной девиации: уничтожение креновой, полукруговой и четвертной девиации; расчет коэффициентов девиации.

36. Предварительное уменьшение креновой девиации выполняется в следующих случаях:

- а) при стоянке в порту;
- б) в море на магнитных курсах 90° и 270° ;
- в) в море на магнитных курсах 0° и 180° .

ПОЯСНЕНИЯ К ОТВЕТАМ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Совершенно верно. Как видно из табл. 2.1, постоянная девиация возникает из-за судовых магнитных сил, которые создаются продольным и поперечным мягким железом, но мягкое железо (продольное и поперечное) вызывает появление еще одного вида девиации. Если Вы правильно определите эту девиацию, то можете переходить к ответу на следующий контрольный вопрос.

2. Верно. Но это одна из сил, а есть еще и другая. Попробуйте определить, каким индексом обозначена она. Если это Вам удастся, то можете отвечать на следующий вопрос.

3. Да, Вы правы. Полукруговая девиация уничтожается способом Эри. Переходите к ответу на следующий контрольный вопрос.

4. Грубая ошибка. Эти силы никакого отношения к созданию четвертной девиации не имеют. Еще раз прочитайте материал п. 4.2 и попробуйте найти правильный ответ.

5. Вы совершенно правы. При уничтожении креновой девиации используется инклинометр, с помощью которого измеряется магнитное наклонение в точке, где располагается центр катушки компаса. Перемещая вертикальный магнит, добиваемся, чтобы инклинометр показывал значение магнитного наклонения, равное величине, снятой с карты для данного района. Можете отвечать на следующий контрольный вопрос.

6. Ошибка. Основным элементом тесламетра является феррозонд, который измеряет величину горизонтальной составляющей H магнитного поля Земли. Для того, чтобы на любом курсе судна иметь информацию о полном векторе H , одного фазометра недостаточно. Прочитайте материал п. 5.1 и выберите другой вариант ответа.

7. Неверно. Уменьшить значение полукруговой девиации с помощью магнитометра можно и при стоянке в порту. Прочитайте еще раз материал пп. 5.4.1 и выберите другой вариант ответа.

8. Ответ ошибочный. При крене судна на компас в горизонтальной плоскости действуют магнитные силы:

$$X'' = X + aX + cZ + P;$$

$$Y'' = Y + eY + Q + [(e - k)Z - R] \theta.$$

Из приведенных равенств видно, что в этом случае появляется дополнительная сила $[(e-k)Z - R] \theta$, величина которой зависит от угла крена судна θ . Эта сила на каких-то магнитных курсах создает девиацию, а на каких-то нет. Чтобы определить характер девиации, сделайте рисунки для магнитных курсов 0° , 90° , 180° , 360° . Анализ этих рисунков позволит Вам найти правильный ответ.

9. Да, это правильно. Действительно, если при пересечении естественного створа, которого нет на карте, на восьми компасных курсах (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , и 315°) взять компасный пеленг створа, то получим восемь компасных пеленгов створа. Каждый из этих компасных пеленгов содержит свою девиацию. Рассчитав среднее арифметическое из этих пеленгов, получим с достаточной степенью точности значение магнитного пеленга (МП) створа. Но среди вариантов ответа имеется еще один правильный. Если Вы его определите, то можете приступать к изучению материала лекции 3.

10. Да, Вы правы. Именно судовым вертикальным мягким железом создается та часть полукруговой девиации, которая зависит от магнитной широты, так называемая *широтная девиация*. Приступайте к ответу на следующий контрольный вопрос.

11. Нет, Вы ответили неверно. Попробуйте выбрать другой вариант ответа.

12. Абсолютно верно. Компенсаторы четвертной девиации, выполненные в виде стержней из мягкого железа. Так как они устанавливаются в непосредственной близости от магнитной системы компаса, они будут намагничиваться не только полем Земли, но и полем магнитной системы компаса. Эта дополнительная намагниченность и приводит к появлению девиации от индукции. Переходите к ответу на следующий контрольный вопрос.

13. Да, Вы совершенно правы. На металлическом судне индукционный компас будет определять направление компасного меридиана. Переходите к ответу на следующий контрольный вопрос.

14. Совершенно верно. Эта сила действует перпендикулярно магнитному меридиану. Однако среди перечисленных сил есть еще одна, которая не зависит от курса судна. Если Вы ее правильно определите, то можно отвечать на следующий контрольный вопрос.

15. Ошибка. Так как эта сила отклонена от меридиана на угол, равный двойному магнитному курсу, она не может создавать полукруговую девиацию. Прочитайте еще раз материал п. 4.1 и выберите правильный ответ.

16. Вы правы. На карте обозначен истинный пеленг (ИП) створа. Если известно в этом месте магнитное склонение d , а его также можно снять с карты, то можно определить значение магнитного пеленга (МП) створа:

$$\text{МП} = \text{КП} - d.$$

Но среди ответов имеется еще один правильный. Если Вы его определите, то можете приступать к изучению материала лекции 3.

17. Нет, это не так. Выберите другой ответ.

18. Ответ неправильный. Из равенства, которое определяет величину магнитной индукции:

$$B = \frac{F}{il \sin \alpha},$$

видно, что магнитная индукция не может иметь размерность $\text{А} \cdot \text{м}^{-1}$. Прочитайте еще раз материал п. 1.1 и попробуйте найти правильный ответ.

19. Нет, неверно. Прочитайте еще раз материал п. 3.1 и выберите другой ответ.

20. Неверно. Твердое судовое железо создает магнитные силы, величина которых не зависит от магнитной широты, а широтная девиация от широты зависит. Прочитайте еще раз материал п. 3.3 и попробуйте определить правильный ответ.

21. Да, Вы правы. Именно эта сила создает полукруговую девиацию. Но кроме этой силы, есть еще одна, которая также создает полукруговую девиацию. Если Вы укажете ее правильно, то можете отвечать на следующий контрольный вопрос.

22. Да, Вы совершенно правы. В точке, удаленной значительно от полюсов прямолинейного магнита ($r > 1/2$, где r – расстояние между полюсами магнита), величина магнитной индукции определяется равенством:

$$B = \frac{\mu_0 M}{4\pi r^3} (1 + 3 \cos^2 \psi),$$

из которого видно, что величина B действительно обратно пропорциональна r^3 . Можете отвечать на следующий контрольный вопрос.

23. Грубая ошибка. Сила $B_{\text{ЛН}}$ создается твердым горизонтальным железом, поэтому скомпенсировать ее вертикальным магнитом невозможно. Выберите другой вариант ответа.

24. Ответ неверный. Для того чтобы скомпенсировать силу, которая создает креновую девиацию, необходимо измерять магнитноеклонение в центре магнитной системы компаса. Для этого никак не подходит дефлектор Колонга. Попробуйте выбрать другой вариант ответа.

25. Грубая ошибка. Девиация никак не может быть параметром, который характеризует магнитное поле Земли. Это величина, которая показывает, на какой угол стрелка магнитного компаса отклоняется от магнитного меридиана под воздействием судового железа. Прочитайте еще раз материал п. 1.4 и попробуйте выбрать правильный ответ.

26. Нет, это неверный ответ. Прочитайте еще раз материал п. 5.1 и выберите другой ответ.

27. Вы ошибаетесь. Уменьшить значение полукруговой девиации с помощью магнитометра можно и при стоянке в порту. Прочитайте еще раз материал пп. 5.4.1 и выберите другой ответ.

28. Ответ неверный. Прочитайте еще раз материал пп. 4.1.2 и выберите другой ответ.

29. Вы правы. К основным параметрам магнитного поля Земли в том числе относится магнитноеклонение I , которое, в свою очередь, зависит от магнитной широты. Однако среди ответов имеются еще два правильных. Если Вы их укажете, то можете приступить к ответу на следующий контрольный вопрос.

30. Да, Вы совершенно правы. Чаще всего значительное изменение девиации происходит из-за изменения коэффициентов полукруговой девиации B и C . Поэтому эти коэффициенты необходимо пересчитывать. Можете приступить к изучению материала лекции 5.

31. Вы ошиблись. Полукруговая девиация не создается продольным и поперечным мягким железом. Прочитайте еще раз материал п. 2.2 и выберите другой ответ.

32. Вы ошибаетесь. Для определения курса судна нет необходимости в составе тесламетра иметь три феррозонда. Прочитайте еще раз материал п. 5.1 и попробуйте выбрать правильный ответ.

33. Вы ответили правильно. Действительно, напряженность магнитного поля H имеет размерность $A \cdot m^{-2}$. Можете приступать к ответу на следующий контрольный вопрос.

34. Вы абсолютно правы. При стоянке судна в порту для одного значения магнитного курса определяются величины $X = H \cos k$ и $Y = H \sin k$, а затем вместо котелка компаса устанавливается магнитометр. Перемещая продольные и поперечные магниты, добиваются показаний магнитометра, равных X и Y . Можете отвечать на вопросы контрольной работы.

35. Ответ ошибочный. Магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 не могут иметь одинаковые направления. Прочитайте еще раз материал п. 5.1 и выберите другой ответ.

36. Правильно. Если обратить внимание на уравнение Пуассона (2.3), то можно увидеть, что эти силы располагаются в столбцах, которые относятся к магнитным силам, создаваемым мягким судовым железом. Можете переходить к изучению материала лекции 2.

37. Правильно. Возникающая при крене судна дополнительная магнитная сила направлена перпендикулярно диаметральной плоскости судна. Это означает, что при изменении курса от 0° до 360° эта сила будет дважды (на курсах 0° и 180°) создавать максимальную девиацию, т.е. девиация будет иметь полукруговой характер. Можете отвечать на следующий вопрос.

38. Вы ошибаетесь. Направление силы $A\lambda H$ не зависит от курса судна, поэтому создаваемая этой силой девиация на всех курсах будет одинаковой. Выберите другой ответ.

39. Ошибка. Попробуйте выбрать другой ответ.

40. Да, Вы правы. В этом и есть преимущество способа Колонга перед способом Эри. Измерения производятся на четырех главных компасных курсах. Можете отвечать на следующий контрольный вопрос.

41. Верно. Четвертная девиация создается судовыми магнитными силами от продольного и поперечного мягкого судового железа. Но это железо вызывает появление еще одного вида девиации. Если Вы правильно определите эту девиацию, то можете отвечать на следующий контрольный вопрос.

42. Да, Вы правы. Если индукционный компас устанавливается на металлическом судне, то он должен иметь устройства, с помощью которых девиацию компаса можно уменьшить до минимальных значений. Переходите к ответу на следующий контрольный вопрос.

43. Грубая ошибка. Прочитайте еще раз материал пп. 4.4.2 и попробуйте найти правильный ответ.

44. Вы совершенно правы. Именно эти две силы создают четвертную девиацию магнитного компаса. Можете отвечать на следующий контрольный вопрос.

45. Неверно. Магнитный поток определяется равенством $\Phi = BS \cos \gamma$. Если в это выражение подставить значение магнитной индукции B , то получим

$$\Phi = \frac{FS \cos \gamma}{il \sin \alpha}.$$

Как видно из приведенного выражения, размерность Φ никак не может быть $A \cdot m^{-1}$. Прочитайте еще раз материал п. 1.1 и выберите другой ответ.

46. Вы ответили правильно. Так как сила $B\lambda H$ направлена вдоль диаметральной плоскости ДП судна, для ее компенсации необходимо использовать магниты-уничтожители, которые также ориентированы вдоль ДП, т.е. являются продольными. Можете приступать к изучению материала лекции 4.

47. Вы ошиблись. Попробуйте выбрать другой ответ.

48. Неверно. Если компас установлен на металлическом судне, то судовым железом создаются магнитные силы, и в этом случае горизонтальная составляющая H' индукции магнитного поля судна не будет совпадать с магнитным меридианом. Попробуйте выбрать другой ответ.

49. Вы ошибаетесь. Прочитайте еще раз материал п. 2.2, обратив особое внимание на табл. 2.1. Попробуйте выбрать правильный ответ.

50. Вы ошибаетесь. Эти силы не относятся к магнитным силам, которые непосредственно создаются полем Земли. Правда, в их создании принимают участие горизонтальная и вертикальная составляющие магнитного поля Земли. Попробуйте выбрать другой вариант ответа.

51. Точно. Две обмотки подмагничивания, уложенные на пермалловых сердечниках, подключены последовательно таким образом, что создаваемые ими магнитные поля имеют потоки Φ_1 и Φ_2 , направленные навстречу друг другу. Можете приступать к ответу на следующий контрольный вопрос.

52. Вы допустили ошибку. Прочитайте еще раз материал пп. 4.4.1 и выберите правильный ответ.

53. Ошибка. Поперечными магнитами-уничтожителями можно компенсировать только ту судовую магнитную силу, которая действует перпендикулярно ДП судна. Прочитайте еще раз материал п. 4.1 и выберите другой ответ.

54. Ошибка. Широтная девиация – это та часть полукруговой девиации, которая зависит от магнитной широты. Для того чтобы определить, каким образом эта девиация компенсируется, необходимо знать, как она создается. Прочитайте еще раз материал п. 3.4 и выберите другой вариант ответа.

55. Вы ошиблись. Прочитайте еще раз материал п. 2.2 и попробуйте определить правильный ответ.

56. Нет, Вы ошиблись. Четвертная девиация уничтожается один раз подбором соответствующих компенсаторов. Попробуйте выбрать другой ответ.

57. Ответ ошибочный. При уничтожении полукруговой девиации способом Колонга с помощью дефлектора измеряются результирующие магнитные силы H' . В этом случае нет необходимости проводить такие измерения на четвертных магнитных курсах. Прочитайте еще раз материал пп. 4.1.2 и выберите другой ответ.

58. Вы ответили неверно. Четвертная девиация действительно создается мягким железом, но только не вертикальным. Прочитайте еще раз материал п. 2.2 и выберите другой ответ.

59. Совершенно правильно. Два феррозонда в составе тесламетра позволяют измерить продольную и поперечную проекции H (вдоль диаметральной плоскости судна и перпендикулярно ДП). По отношению этих величин можно определить магнитный курс судна. Можете отвечать на следующий контрольный вопрос.

60. Да, Вы правы. Действительно, как видно из выражения (1.2), с учетом того, что для воздуха $\mu = 1$, имеем $B = \mu_0 H$. Но есть еще один вариант правильного ответа. Если Вы его определите, то можете приступать к ответу на следующий контрольный вопрос.

61. Вы ошибаетесь. При исправлении таблицы девиации коэффициент A не пересчитывается. Прочитайте еще раз материал пп. 4.5.2 и выберите другой ответ.

62. Неверно. Постоянная девиация невелика. Поэтому ее не уничтожают. Попробуйте выбрать другой вариант ответа.

63. Ответ ошибочный. Для определения курса судна в индукционном компасе используется магнитное поле Земли. Так как в различных точках на земной поверхности существует магнитное склонение, то этот компас не может определять направление истинного меридиана. Попробуйте выбрать другой ответ.

64. Вы ответили правильно. Однако среди ответов имеются еще два правильных. Если Вы их укажете, то можете приступать к ответу на следующий контрольный вопрос.

65. Нет, неверно. Прочитайте еще раз материал пп. 4.5.2 и выберите другой ответ.

66. Вы ошиблись. Прочитайте еще раз материал п. 1.2 и попробуйте найти правильный ответ.

67. Нет, неверно. По двум компасным пеленгам створа, которого нет на карте, невозможно определить значение магнитного пеленга створа. Прочитайте еще раз материал п. 3.3 и выберите другой вариант ответа.

68. Неверно. При уничтожении полукруговой девиации способом Колонга с помощью дефлектора измеряются результирующие магнитные силы H' . В этом случае нет необходимости проводить такие измерения на главных магнитных курсах. Прочитайте еще раз материал пп. 4.1.2 и выберите другой ответ.

69. Да, Вы правы. Эта сила всегда действует вдоль магнитного меридиана. Однако среди перечисленных сил есть еще одна, которая не зависит от курса судна. Если Вы ее правильно определите, то может отвечать на следующий контрольный вопрос.

70. Вы совершенно правы. Широтная девиация – это та часть полукруговой девиации, которая создается вертикальным мягким железом. С изменением магнитной широты изменяется намагниченность железа, а следовательно, и девиация. Чтобы это предотвратить, у компаса имеется широтный компенсатор в виде вертикального стержня из мягкого железа. Можете приступать к ответу на следующий контрольный вопрос.

71. Вы ответили неверно. Из равенства (1.2) никак не вытекает, что $H = \mu_0 B$. Попробуйте выбрать другой вариант ответа.

72. Вы ответили не совсем верно. Дело в том, что из указанных Вами судовых магнитных сил только одна вызывает появление четвертной девиации. Для того чтобы узнать, какой, необходимо еще раз прочитать материал п. 4.2. Тогда Вы найдете правильный ответ.

73. Неверный ответ. Эта сила направлена вдоль магнитного меридиана, поэтому она не может вызвать девиацию. К появлению девиации приводят силы $V\lambda H$ и $C\lambda H$. Попробуйте выбрать другой ответ.

74. Неверно. Компенсаторы четвертной девиации в виде набора из мягкого железа являются безындукционными компенсаторами, т.е. они не создают девиации от индукции. Попробуйте выбрать другой вариант ответа.

75. Нет, неправильно. Попробуйте выбрать другой ответ.

76. Грубая ошибка. Внимательно изучите материал п. 4.1. После того как Вы определите, какие магнитные силы создают полукруговую девиацию, правильный ответ Вы определите легко.

77. Ошибка. Прочтите еще раз материал п. 2.2 и выберите другой ответ.

78. Вы ошибаетесь. Прочитайте внимательно еще раз материал п. 1.1 и попробуйте найти правильный ответ.

79. Ответ совершенно неправильный. Эти силы никак не могут создавать четвертную девиацию, так как одна из них постоянно действует перпендикулярно к магнитному меридиану, а другая всегда направлена вдоль диаметральной плоскости судна. Внимательно прочитайте материал п. 4.2 и выберите правильный ответ.

80. Да, Вы правы. Но это одна из сил, а есть еще и другая. Попробуйте определить, каким индексом она обозначена. Если это Вам удастся, то можете отвечать на следующий вопрос.

81. Совершенно правильно. Сила $V\lambda H$ относительно магнитного меридиана располагается под углом, равным магнитному курсу, т.е. на разных курсах будет своя девиация, которая носит полукруговой характер. Но кроме этой силы есть еще одна, которая также создает полукруговую девиацию. Если Вы укажете ее правильно, то можете отвечать на следующий контрольный вопрос.

82. Правильно. Магнитное склонение относится к основным параметрам магнитного поля Земли. Однако среди ответов имеются еще два правильных. Если Вы их укажете, то можете приступать к ответу на следующий контрольный вопрос.

83. Неверно. Компенсаторы полукруговой девиации являются постоянными магнитами, поэтому они не могут создавать девиацию от индукции. Прочитайте еще раз материал п. 4.2 и попробуйте выбрать правильный ответ.

84. Вы ошибаетесь. Вспомните основной принцип уничтожения девиации: «каким железом девиация создается, таким и уничтожается». Это позволит Вам выбрать правильный ответ.

85. Неверно. Прочитайте еще раз материал п. 2.1, обратив особое внимание на уравнение Пуассона (2.3), и выберите другой ответ.

86. Вы ошибаетесь. Индексом 5 отмечена сила, направление которой определяется углом, равным двойному магнитному курсу, а в вопросе указаны силы, которые по отношению к магнитному меридиану располагаются под другими углами. Прочитайте еще раз материал п. 2.2 и выберите правильный ответ.

87. Неверно. Найдите в п. 2.2 табл. 2.1 и определите правильный ответ.

88. Вы совершенно правы. Действительно, если для случая воздуха в равенство (1.2.) подставим $\mu = 1$, то получим $H = \frac{B}{\mu_0}$, но среди ответов есть еще один правильный. Если Вы его найдете, можете отвечать на следующий контрольный вопрос.

Ответы на вопросы контрольной работы

1) в; 2) в; 3) а, в; 4) в; 5) а; 6) б; 7) а; 8) а; 9) б, в; 10) г, д; 11) б; 12) а; 13) г; 14) а, в; 15) б; 16) а; 17) б; 18) б; 19) г; 20) в; 21) а; 22) б; 23) а; 24) а; 25) в, д; 26) д; 27) в; 28) б; 29) в; 30) г; 31) б; 32) б, г; 33) б; 34) в; 35) а; 36) б.

Требования Международной конвенции СОЛАС-74

Последняя редакция гл. V Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС-74), утвержденная на заседании Комитета ИМО по безопасности на море (MSC.72) в мае 2000 г., содержит требования к оснащению судов навигационными системами и оборудованием, а также требования к ним. В частности, в отношении магнитного компаса эти требования выглядят следующим образом:

«2. Судовое оборудование и системы

2.1. Все суда, независимо от размера, должны иметь:

- 2.1.1. магнитный компас, у которого уничтожена девиация и определены ее остаточные значения, или другое средство, независимое от любого источника электроэнергии, чтобы определять курс и представлять его показания на главный пост управления рулем;
- 2.1.2. пелорус или пеленгаторное устройство компаса, или другое средство, независимое от любого источника электроэнергии, чтобы брать пеленги по дуге горизонта в 360° ;
- 2.1.3. средства коррекции для получения истинных пеленгов и курса в любое время;

2.2. Все суда валовой вместимостью 150 рег. т и более и пассажирские суда независимо от размера, дополнительно к требованиям п. 2.1, должны иметь:

- 2.2.1. запасной магнитный компас, взаимозаменяемый с магнитным компасом, упомянутым в п. 2.1.1., или другое средство, обеспечивающее выполнение предусмотренной п. 2.1.1 функции путем замены или дублирования оборудования».

Резолюция ИМО А.382 (10)

Принята 14 ноября 1977 г.

ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МАГНИТНЫМ КОМПАСАМ

АССАМБЛЕЯ,

ССЫЛАЯСЬ на статью 16 (г) Конвенции о Международной морской организации, касающуюся функций Ассамблеи,

ИМЕЯ В ВИДУ положения Правила 12 гл. V Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 г.,

ССЫЛАЯСЬ ТАКЖЕ на Отчет Комитета по безопасности мореплавания на его 32-й сессии, касающейся дополнений к положениям Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1960 г.

РАССМОТРЕВ Отчет 34-й сессии Комитета по безопасности мореплавания,

ПОСТАНОВЛЯЕТ:

(а) одобрить Рекомендации по оснащению судов магнитными компасами, содержащиеся в прил. I к настоящей Резолюции;

(б) одобрить Рекомендации по технико-эксплуатационным требованиям к магнитным компасам, содержащиеся в прил. II к настоящей Резолюции;

(с) рекомендовать Администрациям руководствоваться положениями настоящей Резолюции, а также приложениями к ней, и после принятия данной Резолюции обеспечивать установку на судах магнитных компасов, соответствующих технико-эксплуатационным требованиям не ниже тех, которые указаны в приложении II;

ПРИГЛАШАЕТ Администрации в надлежащее время дать положения по дополнению Правила 12 Главы V Конвенции СОЛАС-74 в соответствии с положениями приложения I.

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ОСНАЩЕНИЮ СУДОВ МАГНИТНЫМИ КОМПАСАМИ

Администрациям рекомендуется обеспечить следующее:

1. На всех судах должны быть установлены:

(а) главный магнитный компас, соответствующий требованиям приложения II,

(б) путевой магнитный компас, соответствующий требованиям приложения II, если с основного поста управления рулем рулевой не может четко видеть показания главного магнитного компаса;

(с) соответствующие средства связи между главным магнитным компасом и постом управления по усмотрению Администраций;

2. Резервный (аварийный) магнитный компас, взаимозаменяемый с главным магнитным компасом, если отсутствует путевой магнитный компас, или соответствующий требованиям п. 1 (б), или гирокомпас;

3. У каждого магнитного компаса должна быть компенсирована девиация. Величины остаточной девиации должны быть показаны в табличной или графической форме вблизи компаса. Эти данные должны быть хорошо различимы в любое время.

Примечание. Администрации имеют право, сообразуясь с условиями плавания данного судна, его назначением или типом, не требовать установки главного магнитного компаса. Однако при этом остается обязательной установка на нем путевого компаса.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ТРЕБОВАНИЯМ К МАГНИТНЫМ КОМПАСАМ

1. Определения

1.1. Магнитный компас – это мореходный инструмент, предназначенный для определения и удержания некоторого азимутального направления, зависящего от магнитного поля Земли.

1.2. Главный магнитный компас – магнитный компас, используемый в навигационных целях, подвешенный в соответствующем нактоузе, имеющем устройства для уничтожения девиации и измерения пеленгов.

1.3. Путевой компас – магнитный компас, предназначенный для целей управления рулем, подвешенный в соответствующем нактоузе, имеющем устройства для уничтожения девиации.

Примечание. Если главный магнитный компас имеет устройство для дистанционной передачи показаний на пост управления рулем, и изображение картушки в этом устройстве не менее чем по 15° по обе стороны от курсовой черты ясно видимо при дневном и искусственном освещении с места рулевого, то главный магнитный компас в этом случае рассматривается как путевой.

2. Картушка компаса

2.1. Картушка компаса должна быть градуирована на 360° , через каждый градус. Нумерация делений должна быть через 10° , начиная от 0 (норд) до 360° , по часовой стрелке. Главные румбы должны быть обозначены заглавными буквами N, E, S, W. Точка N может быть обозначена эмблемой.

2.2. Погрешность отсчета из-за неточности градуировки, эксцентриситета картушки и магнитной системы не должна превышать $0,5^\circ$ на любом курсе.

2.3. Картушка путевого компаса должна быть ясно видима при дневном и искусственном освещении с расстояния 1,4 м. Допускается использование увеличительной линзы.

3. Материалы

3.1. Магниты системы стрелок, а также магниты, предназначенные для уничтожения полукруговой девиации, должны иметь коэрцитивный коэффициент не меньше 11,2 кА/м.

3.2. Мягкое железо, предназначенное для уничтожения четвертной девиации, не должно иметь остаточного намагничивания.

3.3. Все другие материалы, используемые в магнитном компасе и его нактоузе, должны быть немагнитными, насколько это практически достижимо. Величина отклонения картушки по этой причине не должна превышать $(9/H)^\circ$, где H – горизонтальная составляющая вектора напряженности магнитного поля в мкТл (микротеслах) в точке установки компаса.

4. Техничко-эксплуатационные требования.

Магнитный компас должен нормально работать во всех условиях эксплуатации судна, на котором он установлен.

5. Конструктивные погрешности

5.1. При вращений компаса с постоянной угловой скоростью до $1,5^\circ$ в секунду при температуре компаса $20 \pm 3^\circ\text{C}$ отклонение картушки от первоначального направления не должно превышать $(36/H)^\circ$, если диаметр картушки меньше 200 мм. При диаметре 200 мм и более отклонение картушки не должно превышать $(54/H)^\circ$; H определяется в соответствии с п. 3.3,

5.2. Погрешность за счет трения (застой картушки) не должна превышать $(3/H)^\circ$ при температуре $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

5.3. Если горизонтальная составляющая вектора напряженности магнитного поля равна 18 мкТл, то полупериод колебаний картушки должен быть не менее 12 с, после начального отклонения на 40° . Время возвращения в меридиан с точностью $\pm 1^\circ$ после отклонения на 90° не должно превышать 60 с. Аперриодические компасы должны соответствовать только последнему требованию.

6. Устройства для уничтожения девиации

6.1. Нактоуз должен иметь устройства для уничтожения полукруговой и четвертной девиаций, образующихся из-за воздействия:

(а) горизонтальной составляющей постоянного намагничивания корпуса судна;

(б) погрешностей из-за крена;

(с) горизонтальной составляющей горизонтального индукционного намагничивания корпуса судна;

(д) горизонтальной составляющей вертикального индукционного намагничивания корпуса судна.

6.2. Устройства для уничтожения девиации, предусмотренные п. 6.1, должны обеспечивать постоянство поправок компаса в условиях, предусмотренных п. 4, и особенно при значительном изменении магнитной широты. Значениями девиаций порядком больше четвертной следует пренебречь.

7. Конструкция.

7.1. Основное и аварийное освещение должно быть установлено так, чтобы картушка была хорошо видима в любое время. Должна быть обеспечена возможность затемнения.

7.2. Магнитный компас не должен нуждаться в электропитании за исключением освещения.

7.3. В случае, если для трансляции показаний главного магнитного компаса на пост управления рулем используется электрическая передача, то ее работа должна быть обеспечена от основного и аварийного источников энергии.

7.4. Оборудование должно быть сконструировано и установлено таким образом, чтобы была обеспечена возможность свободного доступа к нему для ввода поправок и регулировок.

7.5. Компасы, нактоузы и пеленгаторы должны иметь маркировку об одобрении Администрацией.

7.6. Главный магнитный компас должен быть подвешен в кардановых кольцах так, чтобы при наклонах нактоуза до 40° его азимутальный круг сохранял горизонтальное положение при любом направлении наклона.

При любом состоянии погоды и моря компас должен оставаться в подвесе. Путевой компас, подвешенный в кардановых кольцах, должен удовлетворять тем же требованиям. При жесткой установке котелка компаса должна быть предусмотрена возможность наклона картушки не менее чем на 30° по любому направлению.

7.7. Материалы, используемые для изготовления магнитных компасов, должны быть достаточно прочными, и их выбор должен быть одобрен Администрацией.

8. Место установки

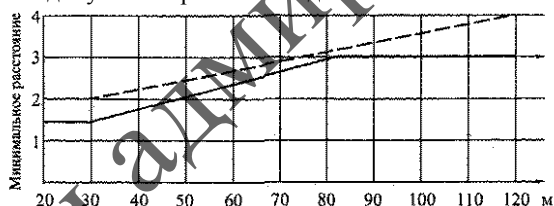
8.1. Магнитный компас по возможности должен устанавливаться в диаметральной плоскости судна. Главная курсовая черта должна быть установлена так, чтобы погрешность курса не превышала $\pm 0,5^\circ$.

8.2. Главный компас должен быть установлен так чтобы с него можно было брать пеленги на земные предметы и небесные светила без затемнения. Отсчеты путевого компаса должны быть ясно видны с поста управления рулем.

8.3. Магнитный компас, по возможности, должен быть удален от магнитных материалов.

Минимальное расстояние главного магнитного компаса от магнитных материалов судовых конструкций определяется Администрацией. Ориентировочные значения таких расстояний даны на диаграмме.

Минимально допустимое расстояние до главного магнитного компаса:



— Полная длина судна

----- — протяженные конструкции постоянного намагничивания;

- - - - - концевые части конструкций, выполненных из материалов, имеющих постоянное намагничивание, такие как: верхние части переборок, бимсы, пиллерсы и т.п.; магнитные материалы, которые в море могут изменять положение, например: стрелы, вентиляторы, стальные двери и т.п.; большие массы магнитных материалов с переменными магнитными полями, например, трубы.

Минимальные расстояния до путевого компаса могут быть снижены до 65 % от величин, указанных на диаграмме, при условии, что эти расстояния не менее 1 м. Если на судне имеется только путевой компас, то минимальное расстояние до него определяется как для главного компаса, т.е., по возможности дальше от магнитных масс.

8.4. Расстояние от магнитных компасов до электрического или магнитного оборудования должно быть не меньше безопасного, определяемого Администрацией.

**Эксплуатационно-технические требования, предъявляемые
к навигационному оборудованию морских судов**

(Российский морской регистр судоходства
"Правила по оборудованию морских судов")

Глава 5.2. Магнитный компас

5.2.1. Магнитный компас должен обеспечивать указание курса судна с точностью:

$\pm 1^\circ$ – на ходу при отсутствии качки;

$\pm 5^\circ$ – при качке во всех направлениях до $\pm 22,5^\circ$ с периодом 6... 15 с.

5.2.2. Картушка главного и путевого, компаса должна обеспечивать возможность снятия отсчета с точностью до $0,5^\circ$. Цена деления картушки должна быть не более 1° .

5.2.3. Застой картушки магнитного компаса при горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Н, мкТл, в месте установки магнитного компаса и температуре окружающего воздуха $20 \pm 3^\circ\text{C}$ не должна превышать $(3/H)^\circ$ при отклонении картушки от магнитного меридиана на $\pm 2^\circ$.

5.2.4. В магнитном компасе должно быть предусмотрено соответствующее амортизирующее устройство, обеспечивающее устойчивость картушки при судовых вибрациях, и устройство, обеспечивающее сохранение нормального положения вертикальной оси компасного котелка в условиях эксплуатации.

5.2.5. Котелок компаса с карданным подвесом должен сохранять горизонтальное положение при наклоне нактоуза до 45° в любом направлении. Картушка должна оставаться свободной при наклоне котелка в любом направлении на угол не менее:

10° – для компасов с карданным подвесом;

30° – для компасов без карданного подвеса.

5.2.6. Магнитный компас должен иметь устройства для компенсации полукруговой, четвертной, креновой и широтной девиации.

Каждое устройство должно обеспечивать компенсацию соответствующей девиации с точностью до $\pm 0,2^\circ$.

5.2.7. Конструкция устройств, предусмотренных п. 5.2.6, должна обеспечивать такую компенсацию девиации, чтобы значения остаточной девиации не превышали $\pm 3^\circ$ для главного компаса и $\pm 5^\circ$ для путевого компаса.

5.2.8. Магнитный компас должен иметь нактоуз и электрическое освещение картушки, достаточное для четкой видимости делений картушки. Должна быть предусмотрена возможность регулировки силы света.

Основное электрическое освещение компаса должно быть рассчитано на питание переменным током. Помимо основного освещения, должно быть предусмотрено аварийное автономное освещение от аккумуляторной батареи.

Напряжение питания освещения не должно превышать безопасного.

5.2.9. Высота нактоуза главного компаса должна быть такой, чтобы вместе с подушкой, на которой он установлен, плоскость стекла котелка компаса находилась на высоте не менее 1300 мм от палубы.

Наибольшая высота установки компасов не регламентируется, но во всех случаях она не должна превышать величины, обеспечивающей удобство работы с компасом.

5.2.10. Главный компас должен быть снабжен пеленгатором, который должен обеспечивать пеленгование видимых с судна предметов и небесных светил с точностью снятия отсчета $\pm 0,25^\circ$.

Пеленгаторы новой конструкций должны обеспечивать снятие прямого обсе-та пеленга.

5.2.11. Должна быть обеспечена возможность четкого снятия отсчета с кар-тушки путевого компаса на расстоянии не менее 1,4 м, как при дневном, так и при искусственном освещении. Допускается применение увеличительных устройств.

5.2.12. Магнитный компас с электрической дистанционной передачей показаний должен удовлетворять всем требованиям пп. 5.2.1 – 5.2.10 и, кроме того, обес-печивать указание курса на репитерах.

5.2.13. В качестве чувствительного элемента магнитного компаса с электриче-ской дистанционной передачей показаний картушки может быть использована маг-нитная система главного магнитного компаса или специальные магнитные чув-ствительные элементы.

5.2.14. При использовании магнитной системы главного магнитного компаса для дистанционной передачи показаний устройство, предназначенное для электри-ческой передачи показаний на репитеры, должно быть такой конструкции, чтобы его размещение и работа не создавали помех пеленгованию, снятию отсчетов курса и пеленга с картушки компаса, а также работам по компенсации девиации.

5.2.15. Специальный чувствительный элемент должен включать в себя устройство для компенсации девиации в соответствии с требованиями пп. 5.2.6 и 5.2.7.

5.2.16. Датчик и вся система дистанционной электрической передачи показаний магнитного компаса должны оставаться работоспособными при следующих изменениях движения судна:

1. циркуляции при угловой скорости до $6^\circ/\text{с}$;
2. рыскании с периодом 10 с и наибольшим отклонением от курса на $\pm 5^\circ$.

5.2.17. Расхождение в показаниях репитеров и чувствительного элемента маг-нитного компаса с дистанционной передачей показаний не должно превышать 1° .

5.2.18. Выход из строя или отключение отдельных репитеров не должны вли-ять на точность показаний оставшихся репитеров и основного компаса.

5.2.19. Должна быть предусмотрена звуковая сигнализация о выходе из строя следящей системы магнитного компаса с электрической дистанционной передачей показаний картушки. Звуковая сигнализация должна получать питание от незави-симого источника.

5.2.20. В комплекте магнитного компаса с электрической дистанционной пе-редачей показаний должно предусматриваться специальное световое табло с над-писью «Репитеры включены от магнитного компаса» (см. 3.7.2.10).

5.2.21. Конструкция магнитного компаса с оптической дистанционной переда-чей показаний должна обеспечивать получение на экране прямого отраженного изображения сектора шкалы картушки с ясно видимыми градусными делениями на дуге не менее 30° , а также курсовой черты, укрепленной в корпусе котелка компа-са.

Рекомендуется предусматривать устройство для получения изображения шкалы картушки с кормовой и носовой сторон перископа.

5.2.22. Длина перископа оптического тракта магнитного компаса с оптической дистанционной передачей показаний должна быть такой, чтобы при установке компаса на подушке с учетом прохода трубы перископа через палубу экран мог быть установлен на уровне глаз рулевого.

Должно быть предусмотрено устройство для возможности регулировки высоты экрана на 100 ... 150 мм вверх и вниз от среднего положения.

5.2.23. Экран должен быть снабжен приспособлением, предохраняющим его от яркого солнечного или другого света, способного вызывать засвечивание изображения на экране картушки. Изображение на экране должно быть ясно видимым в дневное и ночное время.

5.2.24. Конструкция оптического тракта и экрана должна быть такой, чтобы изображение сектора шкалы картушки оставалось четким и ясным при визуальном пеленговании и при закрытом колпаке компаса.

5.2.25. Должно быть предусмотрено устройство регулировки и фиксации положения экрана для удобства снятия показания.

5.2.26. Оптический тракт должен быть водозащищенной конструкции IP 56. Должны быть предусмотрены меры по предотвращению отпотевания тракта и конденсации в нем влаги, а также обеспечен легкий доступ к оптике для ее очистки.

5.2.27. Шлюпочный магнитный компас должен отвечать следующим требованиям:

1. цена деления картушки компаса должна быть 1° , 2° и не более 5° , в зависимости от диаметра картушки;
2. застой картушки компаса при условиях, изложенных в п. 5.2.3, не должен превышать $(9/H)^\circ$;
3. должно быть предусмотрено освещение картушки в соответствии с требованием 6.10.8.1.5 части II «Спасательные средства»;
4. должно быть предусмотрено устройство для крепления компаса на шлюпке и футляр для хранения;
5. диаметр картушки должен быть достаточным для нормального считывания показаний.

**Расчет коэффициентов
и составление рабочей таблицы девиации**

Остаточная девиация определяется на восьми компасных курсах путем пеленгования одного и того же створа. Порядок выполнения работ следующий:

1. Судно направляют последовательно (непосредственно по картушке компаса) на восемь компасных курсов: 0°; 45°; 90°; 135°; 180°; 225°; 270°; 315°. Взятые с точностью до 0,1° компасные пеленги на створ записывают в таблицу первоначальных наблюдений (табл. 4.1).

Таблица 4.1

КК	КП	МП = \sum КП	$\delta = \text{МП} - \text{КП}$
0		МП=	
45			
90			
135			
180			
225			
270			
315			

2. Находят среднее значение компасных пеленгов, которое принимают за магнитный пеленг створа:

$$MP = \frac{1}{8} \sum КП .$$

3. По формуле $\delta = \text{МП} - \text{КП}$ рассчитывают значения девиации для каждого курса и записывают их в табл. 1.1.

4. Значения остаточной девиации, записанные в табл. 1.1, переносят в табл. 1.2 (столбцы 1 и 2), которая составлена в соответствии с основной формулой девиации:

$$\delta = A + B \sin КК + C \cos КК + D \sin 2КК + E \cos 2КК .$$

5. Выполняя действия, предписанные табл. 1.2, находят коэффициенты остаточной девиации: A, B, C, D и E , рассчитывая их с точностью до десятых долей градуса.

Таблица 4.2

КК	δ	КК	δ	(I+II)/2	(I-II)/2	n_1	n_{1IV}	n_2	n_{2IV}			(VII+VIII)/2	(VII-VIII)/2	
	I		II	III	IV		V		VI			VII	VIII	
0		180	$q_1=$			0		1		$q_1=$	$q_3=$			$=E$
45		225	$q_2=$			0,71		0,71		$q_2=$	$q_4=$			$=D$
90		270	$q_3=$			1		0			Σ			
135		315	$q_4=$			0,71		-0,71			$0,5\Sigma$			$=A$
						+		+						
						-		-						
						Σ		Σ						
						$B=$	$0,5\Sigma$	$0,5\Sigma$						$=C$

Следует иметь в виду, что теоретически коэффициент A должен получаться равным нулю, так как при определении магнитного пеленга створа путем определения среднего значения из восьми компасных пеленгов исключается постоянная ошибка, равная коэффициенту A . Однако на практике, вследствие ошибок наблюдения, коэффициент A , полученный в табл. 1.2, может отличаться от нулевого значения на несколько десятых долей градуса.

При расчете пяти коэффициентов девиации (A , B , C , D и E) используются данные наблюдений, полученные при пеленговании створа на восьми компасных курсах. В результате выполнения нескольких избыточных наблюдений (восьми вместо пяти) уменьшается влияние случайных ошибок. Поэтому, делая обратный переход (по основной формуле) от коэффициентов к девиации, можно получить рабочую таблицу остаточной девиации с более достоверными значениями, чем те, которые записаны в табл. 1.1.

Табл. 1.3 предназначена именно для того, чтобы на основании найденных в результате наблюдений коэффициентов рассчитать рабочую таблицу девиации магнитного компаса как функцию компасного курса с промежутками в 15° . Расчет выполняют с точностью до сотых долей градуса, а величины остаточной девиации округляют до десятых долей. Четыре крайних правых столбца табл. 1.3 называются *рабочей таблицей* девиации магнитного компаса.

Таблица 4.3

D=		E=		I+II	A=		B=		C=		V+VI	KK	δ	KK	δ
m_1	m_1D	m_2	m_2E		III+A	m_3	m_3B	m_4	m_4C	VI					
	I		II	III	IV	V		VI	VII						
0		1				0		1			0		180		
0,5		0,87				0,26		0,96			15		195		
0,87		0,5				0,5		0,87			30		210		
1		0				0,71		0,71			45		225		
0,87		-0,5				0,87		0,5			60		240		
0,5		-0,87				0,96		0,26			75		255		
0		1				1		0			90		270		
-0,5		-0,87				0,96		-0,26			105		285		
-0,87		-0,5				0,87		-0,5			120		300		
-1		0				0,71		-0,71			135		315		
-0,87		0,5				0,5		-0,87			150		330		
-0,5		0,87				0,26		-0,96			165		345		

Библиографический список

1. Корякин В.И., Хребтов А.А. От астролябии к навигационным комплексам. – СПб.: Судостроение, 1994.
2. Воронов В.В., Григорьев Н.Н., Яловенко А.В. Судовые магнитные компасы. – СПб.: Элмор, 2004.
3. Кардашинский-Брауде Л.А. Использование магнитометра при уничтожении девиации морских магнитных компасов на кораблях и судах. – СПб.: ОАО «Штурманские приборы», 2011.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Лекция 1	3
Введение	3
1. Основные сведения о магнетизме	6
1.1. Основные характеристики магнитного поля	6
1.2. Основные характеристики магнита	8
1.3. Поле прямолинейного магнита	12
1.4. Магнитное поле Земли	13
1.5. Направляющий момент магнитного компаса	14
2. Магнитное поле судна	16
2.1. Уравнение Пуассона	17
Контрольные вопросы	20
Лекция 2	21
2.2. Судовые магнитные силы	21
3. Девиация магнитного компаса	25
3.1. Многоугольник сил	25
3.2. Основная формула девиации	26
3.3. Составление таблицы девиации	27
Контрольные вопросы	31
Лекция 3	32
3.4. Общие принципы уничтожения девиации	32
4. Уничтожение девиации магнитного компаса	35
4.1. Уничтожение полукруговой девиации	35
4.1.1. Способ Эри	35
4.1.2. Способ Колонга	39
4.1.3. Принцип измерения магнитных сил дефлектором	41
Контрольные вопросы	42
Лекция 4	43
4.2. Уничтожение четвертной девиации	43
4.3. Безындукционные компенсаторы четвертной девиации	46
4.4. Уничтожение креновой девиации	48
4.4.1. Теория креновой девиации	48
4.4.2. Принцип уничтожения креновой девиации	51
4.5. Повышение точности магнитного компаса	53
4.5.1. Компенсация широтной девиации	53
4.5.2. Исправление таблицы девиации во время плавания	54
Контрольные вопросы	56
Лекция 5	56
5. Индукционный магнитный компас	56
5.1. Принцип действия феррозонда	57
5.2. Индукционный компас на основе двухосевого тесламетра	58
5.3. Метод автоматического определения и учета остаточной девиации индукционного компаса	60
5.4. Использование магнитометра для уничтожения девиации морских магнитных компасов	63

5.4.1. Предварительное уменьшение полукруговой и креновой девиации ..	64
5.4.2. Уничтожение четвертной, креновой и полукруговой девиации	66
5.4.3. Расчет коэффициентов и составление таблицы остаточной девиации	68
Контрольные вопросы	69
Контрольная работа	70
Пояснения к ответам на контрольные вопросы	76
Ответы на вопросы контрольной работы	85
Приложение 1. Требования Международной конвенции СОЛАС-74	86
Приложение 2. Резолюция ИМО А.382(10)	87
Приложение 3. Эксплуатационно-технические требования, предъявляемые к навигационному оборудованию морских судов	91
Приложение 4. Расчет коэффициентов и составление рабочей таблицы девиации	94
Библиографический список	97

Яловенко Александр Васильевич,

канд. техн. наук, проф.

МАГНИТНЫЕ КОМПАСЫ

Тексты лекций
с элементами программированного обучения
для студентов заочного обучения



199106, Санкт-Петербург, 22-я линия, 9

тел./факс 812 322-33-42, 322-77-26

www.gma.ru

e-mail: izdat@gma.ru

e-mail: reklama@gma.ru

Ответственный за выпуск

Редактор

Компьютерная верстка

Сатикова Т.Ф.

Карамзина Н.А.

Тюленева Е.И.

Подписано в печать 05.07.2013

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman

Усл. печ. л. 6,25. Тираж 200 экз. Заказ № 31/13