

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МОРСКОЙ КОЛЛЕДЖ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ
«ТЕОРИЯ ДЕВИАЦИИ»**

Электронавигационные приборы

специальность подготовки

26.02.03 Судовождение

Разработал:

А.В. Масалов, преподаватель 1 категории Морского колледжа, председатель ЦК
«Электромеханических дисциплин»

Севастополь 2016

ТЕОРИЯ ДЕВИАЦИИ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ СУДНА. ДЕВИАЦИЯ МАГНИТНОГО КОМПАСА

Компасным меридианом называется след от сечения плоскости истинного горизонта с вертикальной плоскостью, проходящей через линию NS картушки компаса. Угол составленный компасным и магнитным меридианами, называется девиацией магнитного компаса.

Если N картушки компаса отклонен от магнитного меридиана к востоку, то девиация считается положительной, если же к западу, то отрицательной. Положительной девиации приписывают остовое наименование, отрицательной – востовое.

Таким образом, для получения истинных направлений по компасу, установленному на судне, его показания надо исправить общей поправкой, являющейся алгебраической суммой склонения и девиации: $d + \delta$.

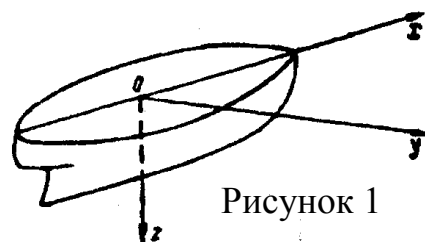
Использование магнитного компаса на судне усложняется тем, что его девиация не является величиной постоянной, а изменяется в процессе плавания от ряда причин, и, в частности, от перемены судном курса и магнитной широты. Действительно, твердое в магнитном отношении судовое железо, намагнитившись при постройке судна, приобретает постоянный магнетизм и действует на картушку магнитного компаса некоторой постоянной по величине силой. При изменении судном курса эта сила вместе с судном изменяет свое направление относительно магнитного меридиана и поэтому на разных курсах вызывает неодинаковую по величине и знаку девиацию. Мягкое же в магнитном отношении судовое железо при перемене судном курса переманчивается, так как оно при этом изменяет свое положение относительно вектора напряженности магнитного поля Земли. Следовательно, на различных курсах судна мягкое судовое железо действует на картушку компаса не постоянной, а переменной по величине и направлению силой и также вызывает неодинаковую девиацию.

Величина девиации зависит также от места установки компаса на судне. На современном морском судне девиация путевых компасов может достигать 90° . Поэтому магнитные компасы имеют специальные устройства, при помощи которых компенсируют магнитное поле судна в месте установки компаса, или, как принято говорить, уничтожают девиацию компаса. Полностью уничтожить девиацию не представляется возможным, поэтому после ее уничтожения приходится вычислять таблицу остаточной девиации, которой пользуются для исправления показаний магнитного компаса.

Таким образом, для использования магнитного компаса на судне необходимо уметь уничтожать девиацию и вычислять таблицу остаточной девиации. Для решения этих вопросов необходимо знать характер сил, действующих на картушку компаса, установленного на судне, а также характер производимых ими девиаций, т.е. теорию девиации, основанием для которой являются так называемые уравнения Пуассона.

УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА

Уравнения Пуассона дают выражения проекций напряженности магнитного поля в любой точке судна на три взаимно перпендикулярные оси, связанные с судном. За такие оси принимают: продольную ось Ox с положительным направлением в нос и отрицательным – в корму, поперечную ось Oy с положительным направлением в



правый борт и отрицательным – в левый и перпендикулярную палубе ось Oz с положительным направлением вниз и отрицательным – вверх. Все три оси пересекаются в точке O (рисунк 1).

Составим уравнения Пуассона для точки O . При этом примем следующие условия.

1. Магнитное поле Земли в объеме, занимаемом судном, является однородным полем.

2. Части набора судна являются линейными брусками (такое условие вполне допустимо, так как бимсы, шпангоуты, пиллерсы, стрелы, мачты и т. д. представляют собой удлиненные стальные брусья, поперечные размеры которых малы по сравнению с их длиной).

3. Судно находится в прямом положении, т.е. оно не имеет ни поперечного, ни продольного крена. Следовательно, судовые оси Ox и Oy горизонтальны, а ось Oz вертикальна.

Напряженность магнитного поля в точке O , как и в любой другой точке, складывается из напряженностей трех полей: 1) магнитного поля Земли; 2) судового переменного магнитного поля, создаваемого мягким в магнитном отношении судовым железом; 3) судового постоянного магнитного поля, создаваемого твердым в магнитном отношении судовым железом.

Чтобы вывести уравнения Пуассона, спроектируем на судовые оси векторы напряженностей каждого из перечисленных полей, а затем сложим их проекции по соответствующим осям.

Проекции напряжённости магнитного поля Земли

На рисунке 2 показаны вектор напряженности T магнитного поля Земли и его горизонтальная H и вертикальная Z составляющие. Составляющая H определяет направление магнитного меридиана ON_m .

Спроектировав H на судовые оси Ox и Oy , получим проекции X и Y напряженности магнитного поля Земли на продольную и поперечную оси судна.

$$\left. \begin{aligned} X &= H \cdot \cos(360-k) = H \cos k \\ Y &= H \cdot \sin(360-k) = -H \sin k \end{aligned} \right\} (1)$$

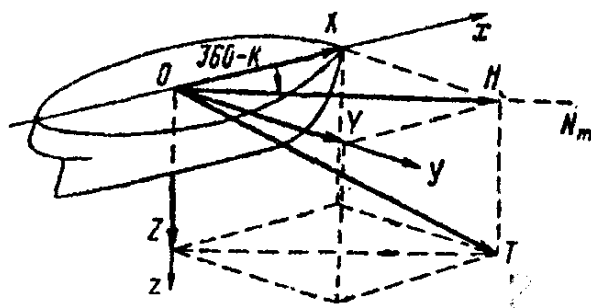


Рисунок 2

Таким образом, напряженность магнитного поля Земли может быть представлена тремя проекциями на судовые оси: продольной X , поперечной Y и перпендикулярной палубе Z . Проекции X и Y при перемене курса изменяются, что видно из формулы (1). Проекция же Z от курса судна не зависит, она зависит лишь от магнитной широты района плавания судна.

Проекции напряженности переменного магнитного поля судна

Под переменным магнитным полем судна будем понимать судовой магнетизм, вызванный мягким в магнитном отношении железом, которое изменяет свою намагниченность с изменением курса судна.

Выделим из всего мягкого в магнитном отношении судового железа произвольно расположенный линейный брусок AB и определим проекции напряженности магнитного поля, создаваемого этим бруском (рисунк 3).

Брусок AB намагнитится в магнитном поле Земли, которое в объеме, занимаемом судном, является однородным полем. Намагничивание бруска в магнитном поле Земли равносильно его намагничиванию в трех однородных полях: продольном с напряженностью X , поперечном с напряженностью Y и перпендикулярном падубе с напряженностью Z . Под действием каждого из этих полей брусок приобретает магнитные моменты M_x , M_y и M_z . Поэтому, суммарный магнитный момент бруска будет $-M = M_x + M_y + M_z$.

Магнитные моменты M_x , M_y и M_z определяются по формуле:

$M_x = x' \cdot v \cdot X \cdot \cos \zeta_x$; $M_y = x' \cdot v \cdot Y \cdot \cos \zeta_y$; $M_z = x' \cdot v \cdot Z \cdot \cos \zeta_z$

где x' – магнитная восприимчивость данного бруска;

v – объем бруска;

ζ_x , ζ_y и ζ_z – углы, образуемые осью бруска с судовыми осями.

Величины x' , v , ζ_x , ζ_y и ζ_z являются для данного бруска постоянными; поэтому, обозначив для краткости произведения $x' \cdot v \cdot \cos \zeta_x$, $x' \cdot v \cdot \cos \zeta_y$, $x' \cdot v \cdot \cos \zeta_z$ соответственно через l , m и n , получим $-M_x = l \cdot X$; $M_y = m \cdot Y$; $M_z = n \cdot Z$; $M = l \cdot X + m \cdot Y + n \cdot Z$

Намагниченный таким образом брусок образует магнитное поле, напряженность которого в точке O определится следующим выражением $-H_0 = q \cdot (l \cdot X + m \cdot Y + n \cdot Z)$, где q – коэффициент, зависящий от расстояния бруска до точки O и его расположения относительно этой точки.

Вектор напряженности H_0 спроектируем на судовые оси. Обозначив через α , β и γ углы, составляемые вектором H_0 с положительными направлениями осей, получим следующие выражения проекций:

по оси Ox – $H_0 \cdot \cos \alpha = q \cdot l \cdot X \cdot \cos \alpha + q \cdot m \cdot Y \cdot \cos \alpha + q \cdot n \cdot Z \cdot \cos \alpha$;

по оси Oy – $H_0 \cdot \cos \beta = q \cdot l \cdot X \cdot \cos \beta + q \cdot m \cdot Y \cdot \cos \beta + q \cdot n \cdot Z \cdot \cos \beta$;

по оси Oz – $H_0 \cdot \cos \gamma = q \cdot l \cdot X \cdot \cos \gamma + q \cdot m \cdot Y \cdot \cos \gamma + q \cdot n \cdot Z \cdot \cos \gamma$.

Если распространить наши рассуждения на все мягкое в магнитном отношении судовое железо, то проекции напряженности переменного магнитного поля судна на судовые оси будут:

по оси Ox – $\Sigma H_0 \cdot \cos \alpha = \Sigma q \cdot l \cdot X \cdot \cos \alpha + \Sigma q \cdot m \cdot Y \cdot \cos \alpha + \Sigma q \cdot n \cdot Z \cdot \cos \alpha$;

по оси Oy – $\Sigma H_0 \cdot \cos \beta = \Sigma q \cdot l \cdot X \cdot \cos \beta + \Sigma q \cdot m \cdot Y \cdot \cos \beta + \Sigma q \cdot n \cdot Z \cdot \cos \beta$;

по оси Oz – $\Sigma H_0 \cdot \cos \gamma = \Sigma q \cdot l \cdot X \cdot \cos \gamma + \Sigma q \cdot m \cdot Y \cdot \cos \gamma + \Sigma q \cdot n \cdot Z \cdot \cos \gamma$.

В этих суммах коэффициенты q , l , m , n и углы α , β , γ для разных брусков имеют разные величины. Напряженности же X , Y и Z являются общими множителями для каждой суммы, поэтому вынесем их за знаки сумм, тогда:

по оси Ox – $\Sigma H_0 \cdot \cos \alpha = X \cdot \Sigma q \cdot l \cdot \cos \alpha + Y \cdot \Sigma q \cdot m \cdot \cos \alpha + Z \cdot \Sigma q \cdot n \cdot \cos \alpha$;

по оси Oy – $\Sigma H_0 \cdot \cos \beta = X \cdot \Sigma q \cdot l \cdot \cos \beta + Y \cdot \Sigma q \cdot m \cdot \cos \beta + Z \cdot \Sigma q \cdot n \cdot \cos \beta$;

по оси Oz – $\Sigma H_0 \cdot \cos \gamma = X \cdot \Sigma q \cdot l \cdot \cos \gamma + Y \cdot \Sigma q \cdot m \cdot \cos \gamma + Z \cdot \Sigma q \cdot n \cdot \cos \gamma$.

Выражения, стоящие под знаками сумм, зависят от магнитной восприимчивости брусков мягкого судового железа, их формы, размеров и расположения относительно точки O . Значит, при данном магнитном состоянии судна и при условии неизменности расположения судового железа эти выражения являются величинами постоянными. Обозначая их начальными девятью буквами латинского алфавита, получим

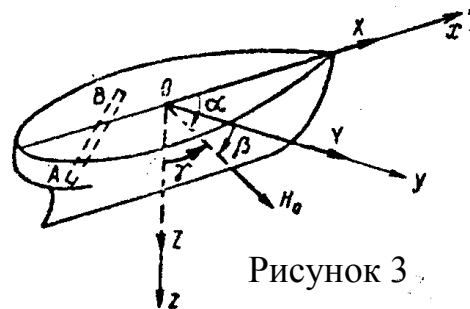


Рисунок 3

окончательные выражения проекций напряженности переменного поля судна на судовые оси:

на ось $Ox - aX + bY + cZ$;

на ось $Oy - dX + eY + fZ$;

на ось $Oz - gX + hY + kZ$.

Проекции напряженности постоянного магнитного поля судна

Чтобы завершить вывод уравнений Пуассона, осталось рассмотреть постоянное магнитное поле судна, образуемое твердым в магнитном отношении железом. Напряженность этого поля в точке O – величина постоянная, она не зависит ни от курса судна, ни от магнитной широты и поэтому может быть представлена тремя постоянными проекциями P , Q и R соответственно на судовые оси Ox , Oy и Oz (**рисунки 4**). Составляющие P , Q и R остаются постоянными до тех пор, пока на судне не произойдут перемещения железных масс.

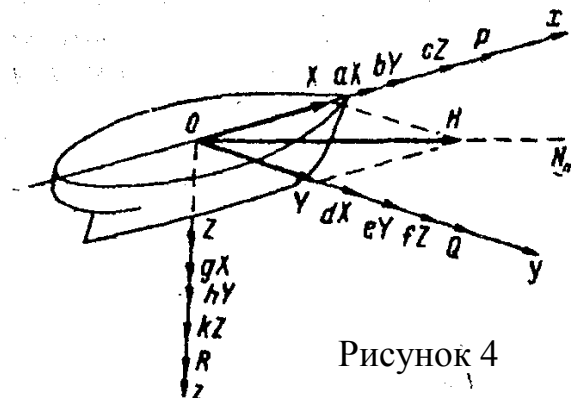


Рисунок 4

Параметры Пуассона

Обобщим для наглядности результаты всех выводов в таблице 1

Таблица 1

Судовые оси	Проекции напряженности поля Земли	Проекции напряженности переменного магнитного поля судна			Проекции напряженности постоянного магнитного поля судна
Ox	X	aX	bY	cZ	P
Oy	Y	dX	eY	fZ	Q
Oz	Z	gX	hY	kZ	R

Обозначая сумму проекций напряженности по каждой из осей через X' , Y' и Z' , составим следующие уравнения:

Первое уравнение – $X' = X + aX + bY + cZ + P$;

Второе уравнение – $Y' = Y + dX + eY + fZ + Q$;

Третье уравнение – $Z' = Z + gX + hY + kZ + R$

ПОЛУЧЕННЫЕ УРАВНЕНИЯ НАЗЫВАЮТСЯ УРАВНЕНИЯМИ ПУАССОНА, а входящие в них величины a , b , c , d , e , f , g , h , k носят название параметров Пуассона.

Параметры Пуассона характеризуют переменное магнитное поле в данной точке судна, т.е. поле, вызываемое мягким в магнитном отношении судовым железом. В разных точках судна параметры Пуассона имеют разную величину. Величина их, как это отмечалось при выводе уравнений Пуассона, зависит от магнитной восприимчивости брусков судового железа, от их формы, размеров и расположения относительно данной точки. Магнитная восприимчивость зависит от напряженности намагничивающего поля, в данном случае магнитного поля Земли.

Если в процессе плавания судна изменяется магнитная широта, то напряженность магнитного поля Земли также изменяется. Это вызывает изменение магнитной восприимчивости судового железа, и, следовательно, изменение параметров Пуассона, однако эти изменения настолько малы, что в дальнейшем они учитываться не

будут.

Отметим еще раз, что уравнения Пуассона дают выражения проекций напряженности суммарного магнитного поля в данной точке судна на судовые оси. Однако в теории девиации слагаемые, из которых состоят уравнения Пуассона, принято называть не напряженностями, а силами; в дальнейшем мы также будем придерживаться этого наименования.

Если в точке O находится центр картушки компаса, установленного на судне, то на картушку будут действовать следующие магнитные силы (рисунок 4):

X, Y, Z – силы земного магнетизма;

$aX, bY, cZ, dX, eY, fZ, gX, hY, kZ$ – силы от мягкого судового железа;

P, Q, R — силы от твердого судового железа.

Силы X, Y и Z от места установки компаса не зависят, так как магнитное поле Земли в объеме, занимаемом судном, практически является однородным магнитным полем.

Силы же $aX, bY, cZ, dX, eY, fZ, gX, hY, kZ, P, Q, R$, происходящие от судового магнетизма, зависят от места установки компаса на судне и, следовательно, у разных компасов имеют различные величины.

При прямом положении судна силы, относящиеся к третьему уравнению, действуют вертикально и поэтому девиацию не вызывают. Силы X' и Y' могут быть заменены равнодействующей, которую принято обозначать через H' (рисунок 5). Равнодействующая H' определяет направление компасного меридиана. По направлению этой равнодействующей устанавливается линия NS картушки компаса, находящегося на судне. Угол δ является девиацией магнитного компаса.

В процессе плавания судна девиация изменяется, так как изменяются вызывающие ее силы. Действительно, при изменении судном курса изменяются составляющие X и Y земного магнетизма, поэтому изменяются и силы aX, bY, dX и eY . Силы же cZ, fZ, P и Q остаются при этом постоянными. При перемене судном магнитной широты изменяется полная сила земного магнетизма T и наклонение I (угол между горизонтальной плоскостью и магнитной осью магнитной стрелки). Значит, при перемене магнитной широты могут изменяться все составляющие X, Y и Z полной силы земного магнетизма, что приводит к изменению сил aX, bY, dX, eY, cZ, fZ . На величинах P и Q изменение магнитной широты не сказывается.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ПУАССОНА

Силы aX, bY, dX, eY, gX, hY , происходящие от мягкого судового железа, при изменении курса судна изменяют не только своё направление, но и величину. В теории девиации удобнее пользоваться силами, не зависящими от курса судна. Для этого необходимо преобразовать уравнения Пуассона. При этом, преобразуются только первые два уравнения, третье действует вертикально. Для преобразования уравнений спроектируем равнодействующую силу H' и её составляющие X', Y' на магнитный меридиан и перпендикулярное ему направление AB (рисунок 6).

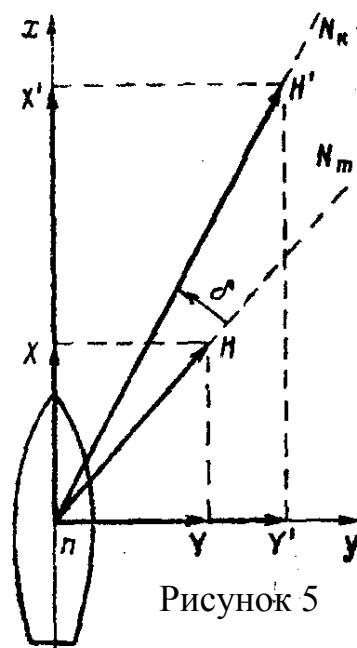


Рисунок 5

$$H' \cos \delta = X' \cos k - Y' \sin k; H' \sin \delta = X' \sin k + Y' \cos k$$

Подставив в полученные равенства вместо X' , Y' их значения из уравнений Пуассона, получим:

$$H' \cos \delta = (X + aX + bY + cZ + P) \cos k - (Y + dX + eY + fZ + Q) \sin k;$$

$$H' \sin \delta = (X + aX + bY + cZ + P) \sin k + (Y + dX + eY + fZ + Q) \cos k$$

Раскрыв скобки и заменив X и Y их значениями из формул (1), получим:

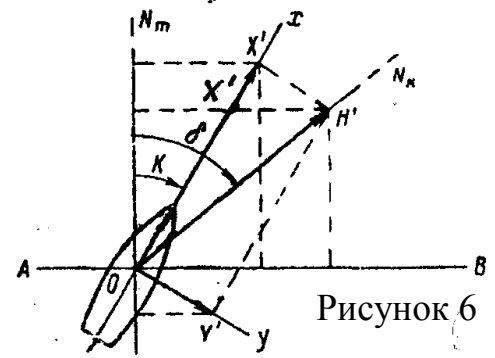


Рисунок 6

$$H' \cos \delta = H \cos^2 k + aH \cos^2 k - bH \sin k \cos k + (cZ + P) \cos k + H \sin^2 k - dH \cos k \sin k + eH \sin^2 k - (fZ + Q) \sin k$$

$$H' \sin \delta = H \cos k \sin k + aH \cos k \sin k - bH \sin^2 k + (cZ + P) \sin k - H \sin k \cos k + dH \cos^2 k - eH \sin k \cos k - (fZ + Q) \cos k$$

Пользуясь формулами тригонометрии перепишем эти равенства в следующем виде:

$$H' \cos \delta = H + \frac{a}{2} H + \frac{a}{2} H \cos 2k - \frac{b}{2} H \sin 2k - \frac{d}{2} H \sin 2k + \frac{e}{2} H - \frac{e}{2} H \cos 2k + (cZ + P) \cos k - (fZ + Q) \sin k$$

$$H' \sin \delta = \frac{a}{2} H \sin 2k - \frac{b}{2} H + \frac{b}{2} H \cos 2k + \frac{d}{2} H + \frac{d}{2} H \cos 2k - \frac{e}{2} H \sin 2k + (cZ + P) \sin k + (fZ + Q) \cos k$$

После приведения подобных членов получим:

$$H' \cos \delta = \left(1 + \frac{a+e}{2}\right) H + \frac{a-e}{2} H \cos 2k - \frac{d+b}{2} H \sin 2k + (cZ + P) \cos k - (fZ + Q) \sin k, \quad (2)$$

$$H' \sin \delta = \frac{d-b}{2} H + \frac{a-e}{2} H \sin 2k + \frac{d+b}{2} H \cos 2k + (cZ + P) \sin k + (fZ + Q) \cos k, \quad (3)$$

В левых частях равенства (2) и (3) находятся проекции равнодействующей силы на магнитный меридиан и перпендикулярное ему направление, а в правых частях – проекции сил: $\left(1 + \frac{a+e}{2}\right)H$; $\frac{a-e}{2}H$; $\frac{d+b}{2}H$; $\frac{d-b}{2}H$; $(cZ + P)$; $(fZ + Q)$ на те же направления. Направления этих сил показаны на рисунке 7.

Сила λH . Сила $\left(1 + \frac{a+e}{2}\right)H$ действует по магнитному меридиану. В равенстве (3) этой силы нет, так как её проекция на направление, перпендикулярное меридиану, равна нулю. Обозначим $\left(1 + \frac{a+e}{2}\right) = \lambda$,

тогда $\left(1 + \frac{a+e}{2}\right)H = \lambda H$.

Коэффициент λ зависит от параметров a и e сил, образованных мягким в магнитном отношении судовым железом. Следовательно, коэффициент λ характеризует изменение силы H под влиянием мягкого в магнитном отношении судового железа. Степень этого влияния зависит от величины параметров a и e . В местах установки магнитных компасов параметры a и e , как правило, отрицательны, а по абсолютной величине не более 0,2. Поэтому коэффициент λ в этих местах меньше единицы, но положителен.

Таким образом, в местах установки главного и путевого компасов сила λH совпадает по направлению с силой H , т. е. действует в сторону N_m (рисунк 8).

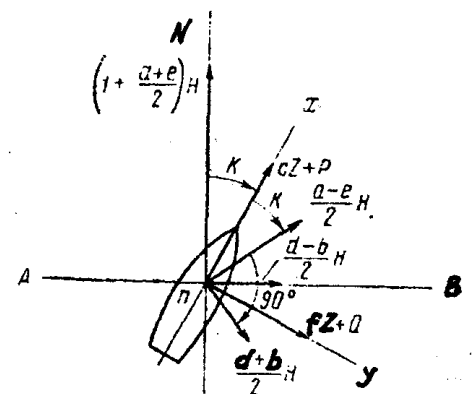


Рисунок 7

Действуя по магнитному меридиану, сила λH девиацию не производит. В этом смысле она является полезной силой, так как стремится установить линию NS картушки компаса по магнитному меридиану. На этом основании силу λH принято называть **НАПРАВЛЯЮЩЕЙ СИЛОЙ**.

От величины силы λH зависит качество работы магнитного компаса. Если коэффициент $\lambda \leq 0,3$, то магнитный компас работает неудовлетворительно даже в средних магнитных широтах.

Сила $A'\lambda H$. Сила $\frac{d-b}{2}H$ действует перпендикулярно магнитному меридиану. В равенстве (2) этой силы нет, так как ее проекция на направление магнитного меридиана равна нулю. Направлена она может быть, как к востоку, так и к западу, что зависит от знаков параметров d и b , т.е. от места установки компаса. В первом случае она считается положительной, во втором – отрицательной (**рисунок 9**).

Действуя перпендикулярно магнитному меридиану и, следовательно, перпендикулярно силе λH , сила $\frac{d-b}{2}H$ на всех курсах вызывает девиацию.

Величина этой девиации зависит не столько от величины силы $\frac{d-b}{2}H$, сколько от отношения этой силы к направляющей силе λH . Обозначив это отношение через A' ,

$$\text{получим } \frac{\frac{d-b}{2}H}{\lambda H} = \frac{d-b}{2\lambda} = A'$$

Все силы, вызывающие девиацию, принято выражать в долях направляющей силы λH . На этом основании выразим силу $\frac{d-b}{2}H$ в долях силы $\lambda H - \frac{d-b}{2}H = A'\lambda H$

Сила $D'\lambda H$. Сила $\frac{a-e}{2}H$ входит в выражения (2) и (3), имея соответственно множители $\cos 2k$ и $\sin 2k$. Следовательно, она составляет с магнитным меридианом угол, равный двойному магнитному курсу $2k$, т.е. действует по направлению зеркального изображения магнитного меридиана в диаметральной плоскости судна. В этом случае она считается положительной (**рисунок 10**). Отрицательная сила $\frac{a-e}{2}H$ действует в противоположном направлении, т.е. под углом $2k \pm 180^\circ$. Таким образом, при изменении курса судна направление силы $\frac{a-e}{2}H$

изменяется в два раза быстрее, чем магнитный курс судна k . Если судно совершит поворот на 180° , то сила опишет при этом полную окружность.

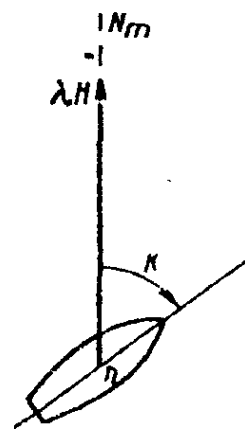


Рисунок 8

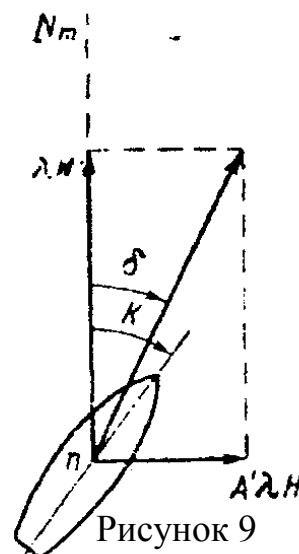


Рисунок 9

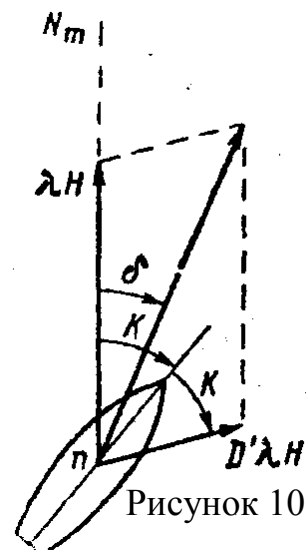


Рисунок 10

Если же судно совершит полную циркуляцию, то сила $\frac{a-e}{2}H$ опишет две окружности. В общем случае сила $\frac{a-e}{2}H$ не совпадает с направляющей силой λH и, следовательно, вызывает девиацию. Величина этой девиации зависит от отношения силы $\frac{a-e}{2}H$ к направляющей силе λH , которое принято обозначать через $D' - \frac{\frac{a-e}{2}H}{\lambda H} = \frac{a-e}{2\lambda} = D'$. Выразим силу $\frac{a-e}{2}H$ в долях силы $\lambda H - \frac{a-e}{2}H = D'\lambda H$.

Сила $E'\lambda H$. Сила $\frac{d+b}{2}H$ входит в выражения (2) и (3), имея соответственно множители $\sin 2k$ и $\cos 2k$. Следовательно, она составляет с магнитным меридианом угол $2k+90^\circ$, т. е. действует перпендикулярно силе $D'\lambda H$. В этом случае она считается положительной. Отрицательная сила $\frac{d+b}{2}H$ действует в противоположном направлении, т. е. под углом $2k-90^\circ$. Эта сила как бы связана с силой $D'\lambda H$, сохраняя на всех курсах перпендикулярное к ней направление (рисунк 11). При изменении курса судна направление силы $\frac{d+b}{2}H$, так же, как и направление силы $D'\lambda H$, изменяется в два раза быстрее магнитного курса судна k .

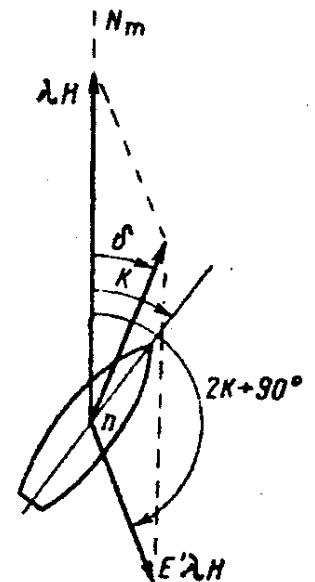


Рисунок 11

В общем случае сила $\frac{d+b}{2}H$ не совпадает по направлению с магнитным меридианом, т. е. с силой λH , и, следовательно, вызывает девиацию. Величина этой девиации зависит от отношения силы $\frac{d+b}{2}H$ к направляющей силе λH ,

которое принято обозначать через $E' - \frac{\frac{d+b}{2}H}{\lambda H} = \frac{d+b}{2\lambda} = E'$. Выразим силу $\frac{d+b}{2}H$ в долях силы $\lambda H - \frac{d+b}{2}H = E'\lambda H$.

Сила $B'\lambda H$. Силы cZ и P хотя и имеют различное происхождение (cZ – от мягкого, P – от твердого в магнитном отношении судового железа), но они одинаково постоянны в данной магнитной широте и действуют по одной и той же (продольной) оси судна (рисунк 12). На этом основании силы cZ и P могут рассматриваться совместно. Их равнодействующая $cZ+P$ направлена либо в нос, либо в корму судна. В первом случае она считается положительной, во втором – отрицательной.

Положительная сила $cZ+P$ образует с магнитным меридианом угол, равный магнитному курсу, судна k , а отрицательная – угол $k\pm 180^\circ$.

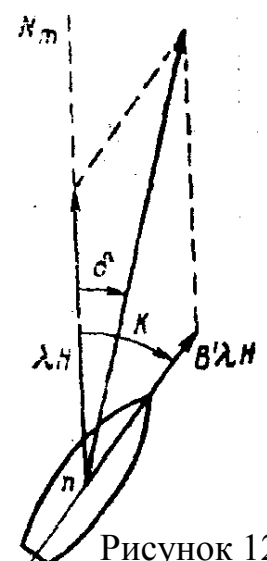


Рисунок 12

Не совпадая в общем случае по направлению с магнитным меридианом, сила $cZ+P$ вызывает девиацию, величина которой зависит от отношения этой силы к направляющей силе λH . Обозначив это отношение буквой B' , получим $-\frac{cZ+P}{\lambda H} = B'$. Выразим силу $cZ+P$ в долях силы λH – $cZ+P = B' \lambda H$.

Сила $C' \lambda H$. Силы fZ и Q также рассмотрим совместно, так как обе они действуют по одной и той же (поперечной) оси судна и в данной магнитной широте одинаково постоянны. Их равнодействующая $fZ+Q$ может быть направлена либо в правый, либо в левый борт судна (рисунок 13). В первом случае сила $fZ+Q$ считается положительной, во втором – отрицательной. Положительная сила $fZ+Q$ образует с магнитным меридианом угол $k+90^\circ$, отрицательная – угол $k-90^\circ$.

Величина девиации, производимой силой $fZ+Q$, также зависит от величины отношения этой силы к направляющей силе λH . Обозначив это отношение буквой C' , получим $-\frac{fZ+Q}{\lambda H} = C'$. Выразим силу $fZ+Q$ в долях силы λH – $fZ+Q = C' \lambda H$.

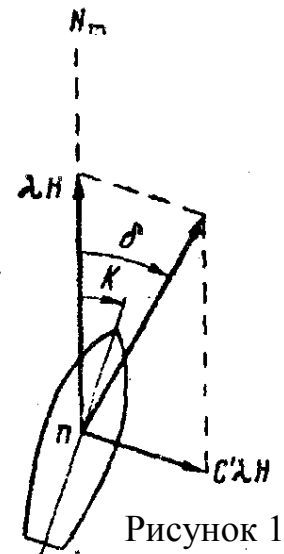


Рисунок 13

Перечислим все силы, полученные в результате преобразования первых двух уравнений Пуассона, расположив их в несколько ином порядке:

λH – направляющая сила, действует всегда по магнитному меридиану к северу; возникает от земного магнетизма и мягкого судового железа;

$A' \lambda H$ – действует перпендикулярно магнитному меридиану; образует с ним угол 90° , если она положительна, и угол 270° , если она отрицательна; возникает от мягкого судового железа;

$B' \lambda H$ – действует по продольной оси судна, образуя с магнитным меридианом угол k при положительном направлении и угол $k \pm 180^\circ$ при отрицательном направлении; возникает от твердого и мягкого судового железа;

$C' \lambda H$ – действует по поперечной оси судна, образуя с магнитным меридианом угол $k+90^\circ$ при положительном направлении и угол $k-90^\circ$ при отрицательном направлении; возникает от твердого и мягкого судового железа;

$D' \lambda H$ – действует по зеркальному изображению магнитного меридиана в ДП судна, составляя с магнитным меридианом угол $2k$ при положительном направлении и угол $2k \pm 180^\circ$ при отрицательном направлении; возникает от мягкого судового железа;

$E' \lambda H$ – действует перпендикулярно зеркальному изображению магнитного меридиана в ДП судна, составляя с магнитным меридианом угол $2k+90^\circ$ при положительном направлении и угол $2k-90^\circ$ при отрицательном направлении; возникает от мягкого судового железа.

На рисунке 14 показаны все перечисленные силы и их равнодействующая H' . Величины сил выбраны произвольно, а направления взяты положительные. Точкой приложения сил будем считать центр картушки компаса. Равнодействующая H' определяет направление компасного меридиана и составляет с магнитным меридианом угол, равный девиации δ .

Построение сил можно выполнить в виде многоугольника (*рисунок 15*). Равнодействующая H' в этом случае является замыкающей в многоугольнике сил. Если при этом величина и знаки сил известны, то угол δ дает величину той девиации, которая соответствует данному курсу судна.

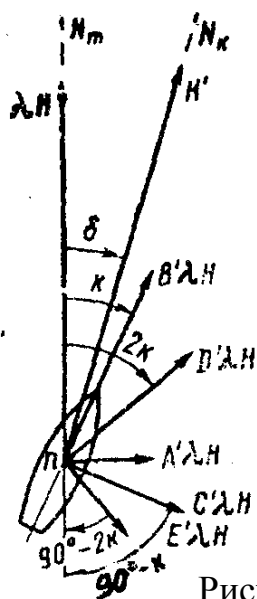


Рисунок 14

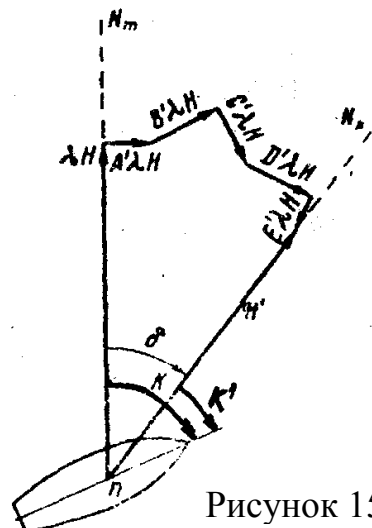


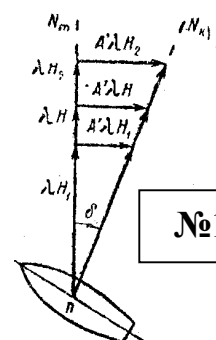
Рисунок 15

ПОСТОЯННАЯ, ПОЛУКРУГОВАЯ И ЧЕТВЕРТНАЯ ДЕВИАЦИИ

Было установлено, что из всех сил, полученных в результате преобразования уравнений Пуассона, только сила λH действует по магнитному меридиану и сама непосредственно девиацию не вызывает. Силы же $A'\lambda H$, $B'\lambda H$, $C'\lambda H$, $D'\lambda H$, $E'\lambda H$, действуя по направлениям, в общем случае не совпадающим с магнитным меридианом, отклоняют линию NS картушки компаса от магнитного меридиана, т.е. вызывают девиацию. При изменении курса судна направления сил изменяются неодинаково, поэтому различные силы вызывают разную, но характеру девиацию. Сила $A'\lambda H$, например, при изменении курса судна вообще не изменяет своего направления. Силы $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ при изменении курса меняют направление вместе с судном. Направления же сил $D'\lambda H$ и $E'\lambda H$ при перемене курса судна изменяются вдвое быстрее, чем курс судна.

Постоянная девиация

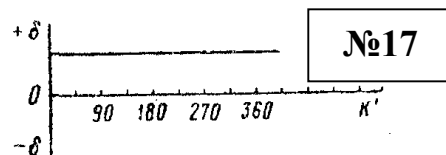
На *рисунке 16* показаны силы λH , $A'\lambda H$ и их равнодействующая, которая определяет в данном случае направление компасного меридиана. Сила $A'\lambda H$, действуя перпендикулярно магнитному меридиану, одинаково направлена относительно него на всех курсах судна. На этом основании девиация от силы $A'\lambda H$ при изменении курса судна от 0 до 360° остается неизменной. Такая девиация называется постоянной девиацией. График постоянной девиации показан на *рисунке 17*, где по оси абсцисс отложены компасные курсы судна κ от 0 до 360°, а по оси ординат – девиация: положительная – вверх, отрицательная – вниз. Из *рисунка 16* имеем



№16

$$- \operatorname{tg} \delta = \frac{A' \lambda H}{\lambda H} = A'$$

Коэффициент A' характеризует относительную



№17

величину силы $A'\lambda H$ и называется **точным коэффициентом постоянной девиации**; он выражается отвлеченным числом и численно равен тангенсу девиации, вызываемой силой $A'\lambda H$.

Величина и знак точного коэффициента постоянной девиации зависят только от параметра Пуассона — $A' = \frac{d-b}{2\lambda}$

При изменении магнитной широты в процессе плавания судна величина силы $A'\lambda H$ изменяется, потому что при этом изменяется горизонтальная составляющая земного магнетизма H . Однако девиация от силы $A'\lambda H$ при изменении магнитной широты остается неизменной. Действительно, при переходе судна из одного района плавания в другой район отношение сил $A'\lambda H$ и λH , равное коэффициенту A' , остается неизменным, так как коэффициент A' от широты не зависит. Значит, при изменении магнитной широты не меняется и девиация, вызываемая силой $A'\lambda H$.

ПОЛУКРУГОВАЯ ДЕВИАЦИЯ

Чтобы сделать заключение о характере девиации от силы $B'\lambda H$, проследим за действием положительной силы $B'\lambda H$ на восьми главных и четвертных магнитных курсах судна (**рисунок 18**).

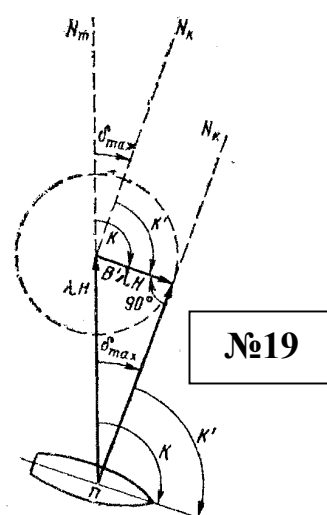
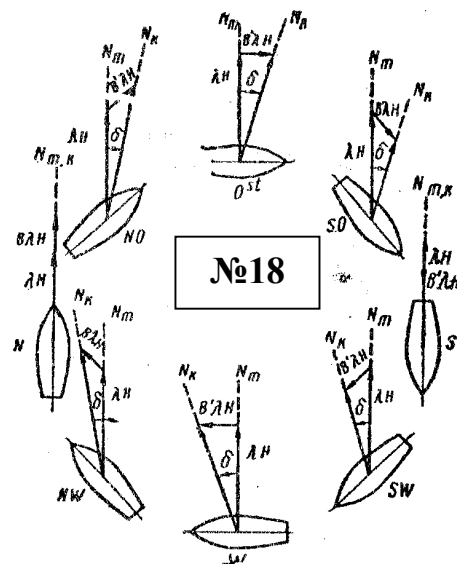
На магнитных курсах N и S , когда диаметрально плоскость судна, а следовательно, и сила $B'\lambda H$ совпадают с магнитным меридианом, сила $B'\lambda H$ девиацию не вызывает, а увеличивает или уменьшает направляющую силу. Эти курсы являются одновременно и компасными курсами 0 и 180° , так как при нулевой девиации магнитный и компасный меридианы совпадают.

На всех других курсах сила $B'\lambda H$ образует с магнитным меридианом углы, равные магнитному курсу судна, и вызывает девиацию.

На курсах от 0 до 180° положительная сила $B'\lambda H$ вызывает остовую (положительную) девиацию, а на курсах от 180 до 360° — востовую (отрицательную).

Таким образом, при перемене курса судна на 360° девиация от силы $B'\lambda H$ дважды изменяет свой знак, принимая два раза нулевые значения. Такая девиация, называется полукруговой девиацией.

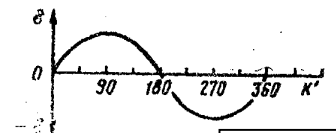
Чтобы построить график полукруговой девиации от силы $B'\lambda H$, определим компасные курсы, из которых девиация максимальна. В дальнейшем эти курсы будем называть «курсы максимальной девиации». Для этого обратимся к **рисунку 19**. При изменении курса судна от 0 до 360° сила $B'\lambda H$, меняя направление вместе с судном, описывает окружность, показанную на рисунке пунктиром. Направление компасного меридиана, а, следовательно, и величина девиации будут при этом изменяться. Максимальную величину девиация имеет в тех случаях, когда компасный меридиан направлен по касательной к окружности, описываемой силой $B'\lambda H$. В этих случаях сила



$B'\lambda H$ перпендикулярна к компасному меридиану, так как радиус, проведенный в точку касания касательной, перпендикулярен к этой касательной. Но сила $B'\lambda H$ совпадает по направлению с диаметральной плоскостью судна. Следовательно, максимальная девиация от силы $B'\lambda H$ наблюдается на тех компасных курсах, при которых диаметральной плоскостью судна перпендикулярна компасному меридиану, т.е. на компасных курсах 90 и 270° . На рисунке 19 показан только один курс максимальной девиации.

График полукруговой девиации представляет собой кривую линию, близкую по очертанию к синусоиде (рисунк 20). Из рисунка 19 имеем — $\sin_{\max} \delta = \frac{B'\lambda H}{\lambda H} = B'$

Коэффициент B' , характеризующий относительную величину силы $B'\lambda H$, называется **точным коэффициентом полукруговой девиации от силы $B'\lambda H$** ; выражается он отвлеченным числом и численно равен синусу максимальной девиации, вызываемой силой $B'\lambda H$.



№20

В отличие от коэффициента A' коэффициент B' зависит от горизонтальной H и вертикальной Z составляющих земного магнетизма, т.е. зависит от магнитной широты — $B' = \frac{cZ + P}{\lambda H}$. Следовательно, при изменении магнитной широты изменяется не только сама сила $B'\lambda H = cZ + P$, но и вызываемая ею девиация. В этом заключается существенная особенность полукруговой девиации. Из графика полукруговой девиации видна еще одна ее особенность: на противоположных курсах судна полукруговая девиация имеет одинаковую величину, но противоположные знаки.

Сила $C'\lambda H$, действуя по поперечной судовой оси, неизменно связана с судном, как и сила $B'\lambda H$. Поэтому девиация от силы $C'\lambda H$ по своему характеру такая же, как и девиация от силы $B'\lambda H$, т.е. полукруговая (рисунк 21).

На курсах $O^{\text{ст}}$ и W сила $C'\lambda H$ совпадает с магнитным меридианом и девиацию не вызывает, увеличивая или уменьшая направляющую силу. На всех других курсах сила $C'\lambda H$ вызывает девиацию.

Для построения графика девиации от силы $C'\lambda H$ определим курсы максимальной девиации (рисунк 22). При изменении курса судна от 0 до 360° сила $C'\lambda H$ описывает окружность; поэтому направление компасного меридиана и величина девиации непрерывно изменяются. Максимальную величину девиация имеет на тех курсах, на которых компасный меридиан направлен по касательной к окружности, описываемой силой $C'\lambda H$. На этих курсах сила $C'\lambda H$ направлена перпендикулярно компасному меридиану, следовательно, диаметральной плоскостью судна совпадает с компасным меридианом. Таким образом, максимальная девиация от силы $C'\lambda H$ наблюдается на компасных курсах 0 и 180° .

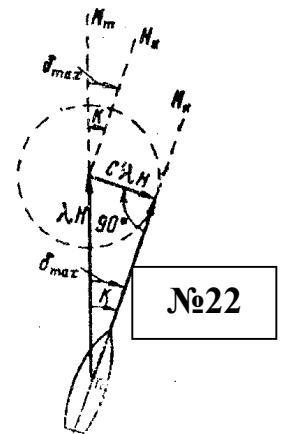
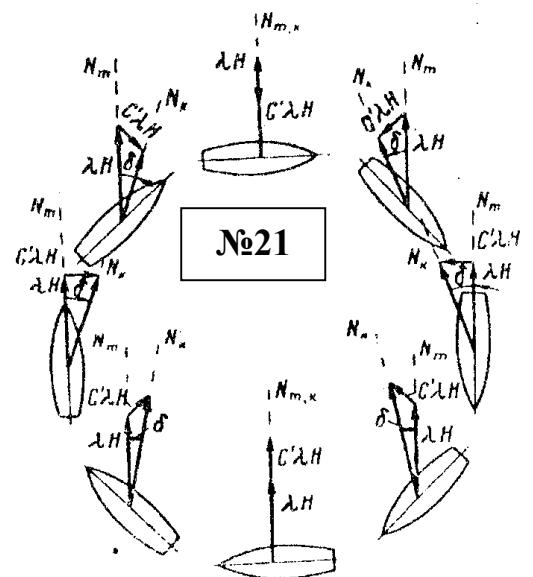
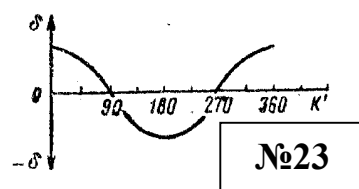


График полукруговой девиации от положительной силы $C'\lambda H$ показан на **рисунке 23**. Кривая девиации по своему очертанию близка к косинусоиду. Из графика видно, что полукруговая девиация, вызываемая силой $C'\lambda H$, обладает тем же свойством, что и полукруговая девиация от силы $B'\lambda H$: на противоположных курсах судна девиация равна по величине, но противоположна по знаку. Из **рисунка 22** имеем – $\sin_{\max} \delta = \frac{C'\lambda H}{\lambda H} = C'$



Коэффициент C' , характеризующий относительную величину силы $C'\lambda H$ называется **точным коэффициентом полукруговой девиации от силы $C'\lambda H$** ; выражается он отвлеченным числом и численно равен синусу максимальной девиации, вызываемой силой $C'\lambda H$.

Коэффициент C' , так же как и коэффициент B' , зависит от магнитной широты, так как он зависит от горизонтальной H и вертикальной Z составляющих земного магнетизма, изменяющихся при перемене магнитной широты – $C' = \frac{fZ + Q}{\lambda H}$. Значит, при перемене магнитной широты изменяется не только сила $C'\lambda H$, но и возникающая от нее девиация.

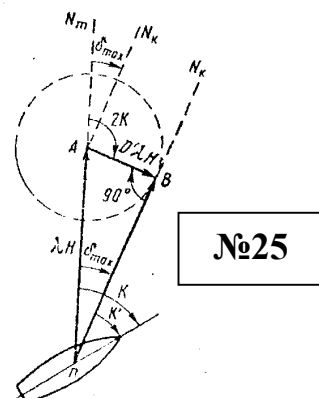
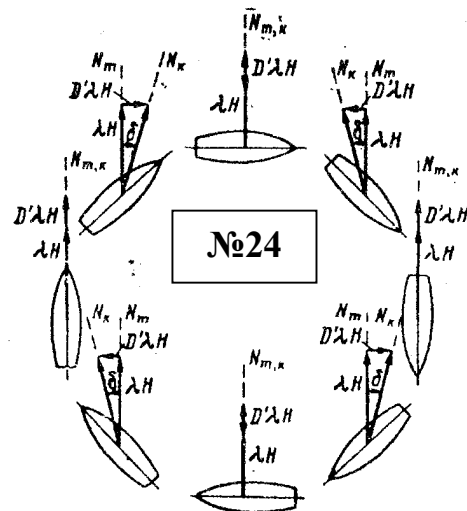
ЧЕТВЕРТНАЯ ДЕВИАЦИЯ

Сила $D'\lambda H$ при изменении курса судна изменяется по направлению в два раза быстрее, чем курс. Чтобы вывести общее заключение о характере девиации от силы $D'\lambda H$, проследим за ее действием на восьми главных и четвертных магнитных курсах судна (**рисунк 24**).

На гласных курсах N , O^st , S и W сила $D'\lambda H$ совпадает с магнитным меридианом, поэтому девиацию не вызывает, увеличивая или уменьшая направляющую силу. На всех остальных курсах сила $D'\lambda H$ не совпадает с магнитным меридианом и, следовательно, вызывает девиацию.

При изменении курса судна от 0 до 360° девиация от силы $D'\lambda H$ четыре раза изменяет свой знак и столько же раз переходит через нулевое значение. Поэтому она называется четвертной девиацией.

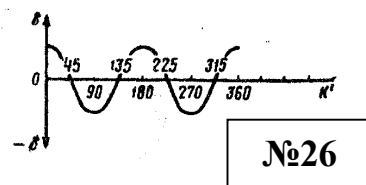
Четвертная девиация в каждой четверти возрастает от нуля до максимального значения и вновь уменьшается до нуля. Следовательно, максимальные значения девиации от силы $D'\lambda H$ наблюдаются на четырех курсах. Для определения этих курсов обратимся к **рисунку 25**. Так же, как и в ранее рассмотренных случаях, девиация от силы $D'\lambda H$ имеет максимальное значение, когда сила $D'\lambda H$ направлена перпендикулярно к компасному меридиану. Чтобы в этом случае найти направление диаметральной плоскости судна относительно компасного меридиана, т.е. найти компасный курс k' максимальной девиации, напомним, что положительная сила $D'\lambda H$ образует с меридианом угол, равный двум магнитным курсам. Поэтому имеем – $2k = 90^\circ + \delta_{\max}$.



Но, $k = k' + \delta_{max}$. Поэтому $2(k' + \delta_{max}) = 90^\circ + \delta_{max}$. Найдем один из компасных курсов максимальной девиации — $k' = 45^\circ - \frac{\delta_{max}}{2}$

Характер изменения девиации от силы $D'\lambda H$ в каждой четверти одинаков. Поэтому максимальная девиация от силы $D'\lambda H$ наблюдается также и на курсах, отличающихся от компасного курса $45^\circ - \frac{\delta_{max}}{2}$ соответственно на $90, 180$ и 270° т.е. на курсах — $k' = 135^\circ - \frac{\delta_{max}}{2}$; $k' = 225^\circ - \frac{\delta_{max}}{2}$; $k' = 315^\circ - \frac{\delta_{max}}{2}$

В случае малых девиаций компасные курсы максимальных девиаций, близки, к четвертным. Поэтому кривая четвертной девиации по своему очертанию тем ближе подходит к синусоиде, чем меньше девиация (**рисунк 26**).

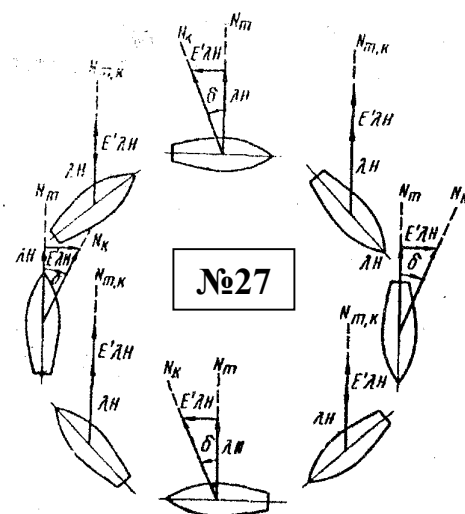


Из **рисунка 25** имеем — $\sin_{max} \delta = \frac{D' \lambda H}{\lambda H} = D'$

Коэффициент D' , характеризующий относительную величину силы $D'\lambda H$, называется **точным коэффициентом четвертной девиаций от силы $D'\lambda H$** ; он выражается отвлеченным числом и численно равен синусу максимальной девиации от силы $D'\lambda H$.

Величина и знак точного коэффициента четвертной девиации D' , зависят только от параметров Пуассона — $D' = \frac{a-e}{2\lambda}$

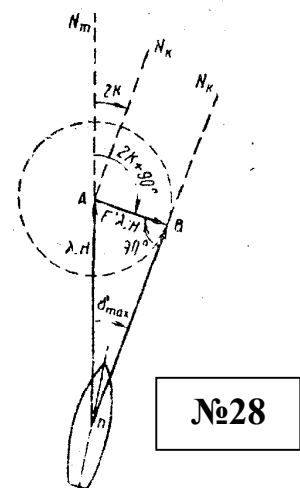
При изменении магнитной широты сила $D'\lambda H$ изменяется вследствие изменения силы H . Однако девиация от силы $D'\lambda H$ при изменении магнитной широты остается для данного курса постоянной, так как при этом силы $D'\lambda H$ и λH изменяются пропорционально, и их отношение, равное D' , является постоянной величиной во всех магнитных широтах. Из графика четвертной девиации, создаваемой силой $D'\lambda H$, видна еще одна особенность этой девиации: на обратных курсах судна четвертная девиация одинакова по величине и по знаку.



Силы $E'\lambda H$ и $D'\lambda H$ на всех курсах судна взаимно перпендикулярны. Поэтому сила $E'\lambda H$, так же как и $D'\lambda H$, вызывает четвертную девиацию (**рисунк 27**). Из рисунка видно, что на курсах NO, SO, SW и NW сила $E'\lambda H$ действует по магнитному меридиану и поэтому девиацию не вызывает, увеличивая или уменьшая направляющую силу. При изменении курса судна от 0 до 360° девиация от силы $E'\lambda H$ четыре раза изменяет свой знак, переходя через нулевые значения.

Курсы максимальной девиации от силы $E'\lambda H$ определим из **рисунка 28**. Таких курсов, как и в случае силы $D'\lambda H$, будет четыре.

График четвертной девиации от силы $E'\lambda H$ показан на

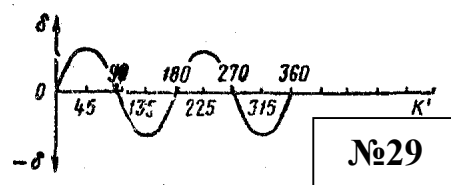


рисунке 29. При малых девиациях кривая девиации близка к косинусоиде.

Из **рисунка 28** имеем — $\sin_{\max} \delta = \frac{E' \lambda H}{\lambda H} = E'$

Коэффициент E' , характеризующий относительную величину силы $E' \lambda H$, называется **точным коэффициентом четвертной девиации от силы $E' \lambda H$** ; выражается он отвлеченным числом и численно равен синусу максимальной девиации от силы $E' \lambda H$. Коэффициент E'

зависит только от параметров Пуассона — $E' = \frac{d+b}{2\lambda}$



При изменении магнитной широты сила $E' \lambda H$ изменяется, девиация же, вызываемая силой $E' \lambda H$, от магнитной широты не зависит, так как в этом случае силы $E' \lambda H$ и λH изменяются пропорционально. Отношение сил $E' \lambda H$ и λH для всех магнитных широт имеет постоянную величину E' .

Итак, девиация, вызываемая силами $A' \lambda H$, $B' \lambda H$, $C' \lambda H$, $D' \lambda H$, $E' \lambda H$, по своим свойствам разделяется на три вида: постоянную, полукруговую и четвертную.

Постоянная девиация возникает от силы $A' \lambda H$, эта девиация не зависит ни от курса судна, ни от магнитной широты.

Полукруговая девиация возникает от сил $B' \lambda H$ и $C' \lambda H$, она зависит и от курса судна, и от магнитной широты; при изменении курса судна на 360° она дважды изменяет свой знак; на противоположных курсах эта девиация одинакова по величине, но противоположна по знаку.

Четвертная девиация возникает от сил $D' \lambda H$ и $E' \lambda H$, она зависит от курса судна, но не зависит от магнитной широты; при изменении курса судна на 360° она четыре раза изменяет свой знак; на противоположных курсах она одинакова по величине и знаку.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА И ЗНАКИ ТОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЕВИАЦИИ

Об относительной величине и знаках точных коэффициентов девиации можно судить по следующим формулам: $A' = \frac{d-b}{2\lambda}$, $B' = \frac{cZ+P}{\lambda H}$, $C' = \frac{fZ+Q}{\lambda H}$, $D' = \frac{a-e}{2\lambda}$, $E' = \frac{d+b}{2\lambda}$.

Коэффициент A' для компасов, установленных в диаметральной плоскости судна, близок к нулю, так как параметры d и b характеризуют силы от несимметричного железа, которого, как известно, в наборе судна мало. У компасов, установленных вне диаметральной плоскости, коэффициент A' может быть большим. По знаку коэффициент A' может быть и положительным, и отрицательным.

Коэффициенты B' и C' , как правило, велики, вследствие того, что силы P и Q , возникающие от твердого судового железа, имеют большую величину. Знаки коэффициентов B' и C' зависят от места установки компаса и могут быть как положительными, так и отрицательными.

Коэффициент D' зависит от параметров a и e , которые, как нам уже известно, велики. Поэтому и коэффициент D' велик, особенно у путевых компасов, ближе расположенных к основным массам судового железа. Если при этом учесть, что параметр e обычно отрицателен и по абсолютной величине больше параметра a , то станет ясно,

что коэффициент D' положителен.

Коэффициент E' , так же, как и коэффициент A' , зависит от параметров d и b и поэтому для компасов, установленных в диаметральной плоскости судна, близок к нулю. У компасов же, находящихся вне диаметральной плоскости судна, коэффициент E' может иметь значительную величину. Знак коэффициента E' может быть, как положительным, так и отрицательным.

На современном морском судне для главных компасов точные коэффициенты девиации имеют примерно следующие величины – $A'=0,005 \div 0,01$; $B'=C'=0,15 \div 0,20$; $D'=0,05 \div 0,08$; $E'=0,005 \div 0,01$.

Коэффициенты девиации с течением времени в процессе эксплуатации судна могут изменяться по различным причинам. Коэффициенты A' , D' и E' зависят от параметров Пуассона и поэтому постоянны лишь в той степени, в какой постоянны сами параметры. Параметры Пуассона зависят, во-первых, от магнитной восприимчивости мягкого судового железа, которая при изменении магнитной широты изменяется. Однако это изменение настолько незначительно, что в теории девиации магнитную восприимчивость и параметры Пуассона принято считать не зависящими от магнитной широты. Вследствие этого же считают не зависящими от магнитной широты и коэффициенты A' , D' и E' .

Параметры Пуассона зависят также от расположения судового железа относительно компаса. Поэтому изменения в конструкции судна, и особенно в его частях, находящихся в непосредственной близости к компасу, могут привести к изменению коэффициентов A' , D' и E' .

Главной причиной непостоянства коэффициентов полукруговой девиации B' и C' является их зависимость от горизонтальной H и вертикальной Z составляющих магнитного поля Земли, которые при плавании судна изменяются. В выражения коэффициентов B' и C' входят сиды P и Q , возникающие от твердого в магнитном отношении судового железа, обладающего постоянным магнетизмом. Постоянное магнитное поле судна и вместе с ним коэффициенты B' и C' могут изменяться в результате сильных механических, тепловых или электрических воздействий на корпус судна.

ПРИБЛИЖЁННЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЕВИАЦИИ

Точные коэффициенты девиации численно равны – $A'=tgA$; $B'=sinB$; $C'=sinC$; $D'=sinD$; $E'=sinE$. Где A – постоянная девиация от силы $A'\lambda H$, а B , C , D , E – максимальные девиации, вызываемые силами $B'\lambda H$, $C'\lambda H$, $D'\lambda H$, $E'\lambda H$ соответственно. Величины A , B , C , D , E выражены в градусах, точные же коэффициенты девиации определяются отвлеченными числами.

α		$\sin \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$
в градусах	в радианах		
1	0,0175	0,0175	0,0175
5	0,0873	0,0872	0,0875
8	0,1396	0,1392	0,1405

Если сравнивать величины углов в радианах с натуральными величинами синуса и тангенса этих углов, то видим, что для малых углов они приблизительно равны. На этом основании, для случая малых девиаций, допустимы следующие приближённые равенства – $A'=tgA=A$; $B'=sinB=B$; $C'=sinC=C$; $D'=sinD=D$; $E'=sinE=E$.

Величины A, B, C, D, E называются **приближёнными коэффициентами девиации**.

В последних равенствах приближённые коэффициенты девиации выражены в радианах. Для практических целей приближённые коэффициенты девиации удобнее выражать в градусах.

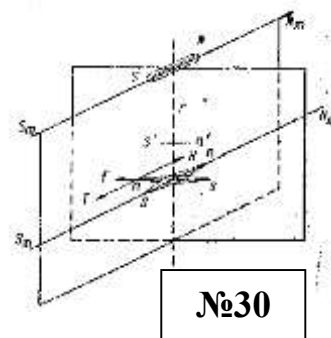
ДЛЯ ПЕРЕВОДА УГЛА ИЗ РАДИАННОЙ МЕРЫ В ГРАДУСНУЮ ДОСТАТОЧНО УМНОЖИТЬ ВЕЛИЧИНУ ЭТОГО УГЛА НА 57,3°

ПОЛОЖЕНИЯ КОЛОНГА

Дефлектором называется прибор, предназначенный для измерения на судне и в береговых условиях, составляющих напряженности магнитного поля.

В основу конструкции дефлектора и измерения с его помощью магнитных сил легли теоретические положения, разработанные в прошлом столетии русским ученым И.П. Колонгом.

ПЕРВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ КОЛОНГА рассматривает действие измерительного магнита NS , расположенного горизонтально в плоскости магнитного меридиана, на магнитную стрелку ns , центр которой лежит на одной вертикальной прямой с центром магнита (**рисунок 30**).



При указанном расположении магнита к стрелке ns будут приложены две силы: горизонтальная составляющая H земного магнетизма, которую необходимо измерить, и сила F , создаваемая магнитом. Причем составляющая H направлена к северу, а сила F действует в противоположном направлении, т.е. к югу. Величина силы F выражается формулой – $F = \frac{M}{r^3} \left(1 - \frac{Q}{r^2} \right)$, где r – расстояние между центрами магнита и стрелки;

M – магнитный момент магнита NS ; Q – величина, зависящая от длины магнита.

Величины M, Q, r , а значит, и сила F известны. Если изменять расстояние r , т.е. поднимать или опускать магнит, то сила F также будет изменяться и при некотором значении r она станет равна составляющей H . Тогда измеряемая составляющая будет найдена – $H = \frac{M}{r^3} \left(1 - \frac{Q}{r^2} \right)$

Остается выяснить, каким же образом при передвижении магнита NS можно определить тот момент, когда силы F и H становятся одинаковыми по величине.

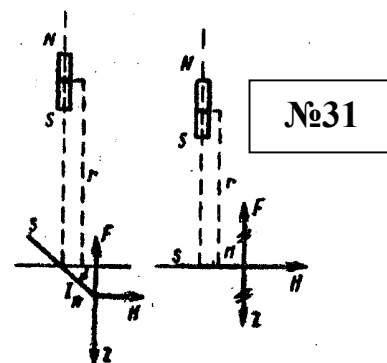
Равенство указанных сил, означает их взаимную компенсацию, так как они действуют в прямо противоположных направлениях. Но если силы F и H будут взаимно компенсированы, то картушка компаса будет удерживаться в меридиане только силой трения топки о шпильку. Поместим над стрелкой ns , кроме измерительного магнита NS , небольшой вспомогательный магнит $n's'$, расположив его под углом 90° к меридиану (к измерительному магниту). При равенстве сил F и H этот вспомогательный магнит, действуя на стрелку некоторой силой f , превосходящей силу трения, отклонит стрелку из плоскости меридиана на 90° влево и будет удерживать ее в этом положении. Определение угла отклонения стрелки может быть выполнено с достаточной точностью по наблюдениям за отсчетом картушки под призмой пеленгатора. Если до начала измерений картушка своей осью ns располагалась в плоскости меридиана и

под призмой находился отсчет 180° (S), то при равенстве сил F и H под призму подойдет отсчет 270° (W).

Итак, измерение составляющей H земного магнетизма основано на ее компенсации силой F измерительного магнита, причем момент компенсации определяется по отклонению картушки от меридиана на 90° под действием вспомогательного магнита. На таком же принципе основано и измерение судовой горизонтальной силы H' на том или ином курсе. Только в этом случае ось измерительного магнита нужно располагать не в магнитном, а в компасном меридиане.

ВТОРОЕ ПОЛОЖЕНИЕ КОЛОНГА является основанием измерения дефлектором вертикальных магнитных сил.

Пусть измерительный магнит NS (рисунк 31) расположен над центром стрелки ns вертикально, а сама стрелка может поворачиваться вокруг горизонтальной оси. В этом случае на стрелку будут действовать составляющие H и Z магнитного поля Земли и сила F магнита NS . К северному полюсу стрелки окажутся приложенными три силы: mH , mZ , mF . Такие же силы, но с противоположным знаком будут приложены и к южному полюсу стрелки.



Таким образом, на стрелку ns действуют три пары сил, и каждая из этих пар создает вращающий момент. Известно, что величина вращающего момента определяется произведением силы на плечо пары. В рассматриваемом случае вращающие моменты имеют величины: $-Zm2l\cos I$; $Hm2l\sin I$; $Fm2l\cos I$. Где $2l$ – длина стрелки; I – угол наклона стрелки.

Под действием вращающих моментов стрелка придет в положение равновесия, установившись неподвижно под некоторым углом I по отношению к плоскости горизонта. При этом сумма вращающих моментов будет равна нулю.

Учитывая, что составляющая Z в северном полушарии стремится наклонить северный конец стрелки под горизонт, а составляющая H и сила F поворачивают стрелку в противоположном направлении, перепишем уравнение в таком виде, сократив его попутно на $m2l - Z\cos I = H\sin I + F\cos I$.

Величина F , характеризующая напряженность поля в точках на продолжении оси магнита, выражается формулой – $F = \frac{2M}{r^3} \left(1 + \frac{P}{r^2} \right)$, где M – магнитный момент магнита NS ; P – величина, зависящая от длины магнита; r – расстояние между центрами магнита и стрелки.

Величина силы F магнита NS при постоянных M и P зависит от r . Поднимая или опуская магнит, т.е. изменяя r , можно довести силу F до такой величины, при которой стрелка ns установится горизонтально. Тогда угол I будет равен нулю, и уравнение равновесия стрелки примет вид $F=Z$. Итак, при горизонтальном положении стрелки измеряемая составляющая Z (на судне Z') становится равной силе F и может быть выражена формулой – $Z = \frac{2M}{r^3} \left(1 + \frac{P}{r^2} \right)$.

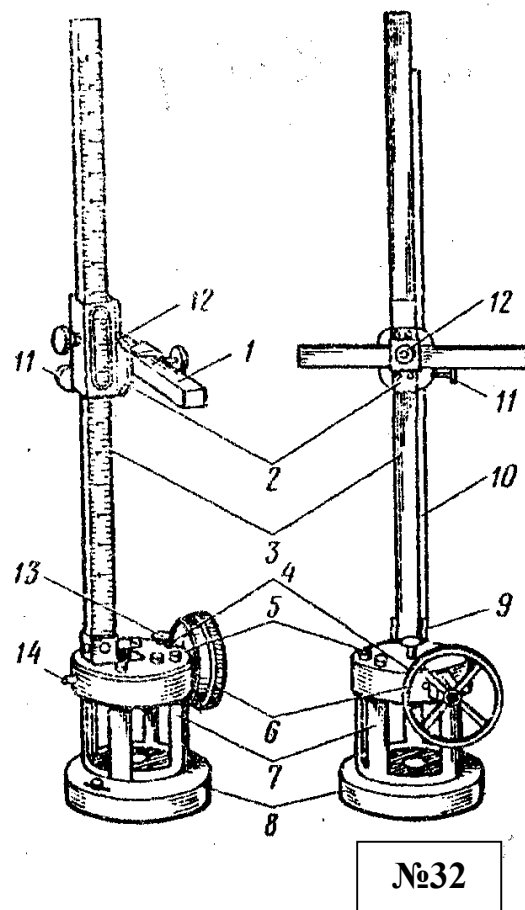
Следовательно, для измерения дефлектором вертикальной составляющей Z на берегу или силы Z' на судне необходимо компенсировать измеряемую силу с помощью вертикально установленного магнита, причем признаком компенсации является

приход в горизонтальное положение магнитной стрелки, вращающейся вокруг горизонтальной оси.

Обычная картушка компаса не может быть использована при измерении сил Z и Z' , так как она не реагирует видимым образом на действие, вертикальных сил. Вместо нее применяется специальная картушка с наклонными стрелками. У данной картушки магнитная система подвешена на горизонтальной оси и под действием вертикальной магнитной силы наклоняется тем или иным своим вертикальным концом относительно плоскости горизонта.

ДЕФЛЕКТОР КОЛОНГА

Рисунок 32: 1 – измерительный магнит; 2 – каретка; 3 – линейка со шкалой; 4 – основание линейки; 5 – винт с эксцентриком (диск, насаженный на вал, причём, ось диск смещена относительно оси вала. Применяется для преобразования вращательного движения вала в поступательное движение ползунка); 6 – маховик микрометрического приспособления; 7 – стакан; 8 – основание дефлектора; 9 – зубчатая рейка; 10 – шток; 11 – соединительный винт; 12 – поворотное гнездо каретки; 13 – винт для крепления вспомогательного магнита; 14 – вспомогательный магнит.



Главной частью дефлектора является измерительный магнит. Он изготовлен из высококачественного магнитного сплава, обладающего большой коэрцитивной силой (значение напряжённости магнитного поля, необходимое для полного размагничивания ферромагнитного вещества). При бережном обращении магнитные свойства магнита сохраняются без существенных изменений в течение длительного времени. Выполнен магнит в виде бруска квадратного сечения размерами 95x10x10 мм. Северный полюс магнита отмечен риску, нанесенной на одной из граней. На этой же грани имеется латунный ограничительный штифт, позволяющий правильно устанавливать магнит в гнездо передвижной каретки. Гнездо сделано поворотным, поэтому магнит можно устанавливать, как в горизонтальной плоскости, так и вертикально.

Каретка с измерительным магнитом перемещается по линейке, на которой нанесены две шкалы. Левая шкала предназначена для отсчета величины горизонтальных сил в дефлекторных единицах (д.е.) и вычислена по формуле $H_1 = \frac{M}{r^3} \left(1 - \frac{Q}{r^2} \right)$.

На разных участках цена одного деления шкалы различна: на участке 30÷100 – 1 д.е.; 100÷170 – 2 д.е.; 170÷300 – 5 д.е.; 300÷400 – 10 д.е.

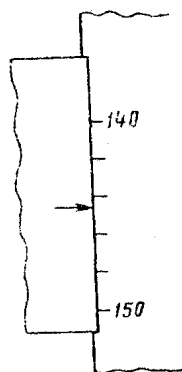
По правой шкале производится отсчет величины вертикальных сил также в дефлекторных единицах. Эта шкала вычислена по формуле $H_2 = \frac{2M}{r^3} \left(1 + \frac{P}{r^2} \right)$.

Цена деления на шкале вертикальных сил следующая: на участке 56÷100 – 1

д.е.; $100 \div 150 = 2$ д.е.; $150 \div 350 = 5$ д.е.; $350 \div 720 = 10$ д.е.

Индексы для отсчета по шкалам нанесены на рамке каретки. При измерении сил на 127-мм компасах УКП-М следует пользоваться индексами, помеченными надписью «5"».

Поясним примером правило отсчета измеряемых сил по шкалам дефлектора. Пусть при измерении горизонтальной магнитной силы индекс каретки с магнитом установился так, как это показано на рисунке 33. Для взятия отсчета прежде всего определяем цену деления данного участка шкалы и количество целых дефлекторных единиц по ближайшему делению, находящемуся над индексом. Получим 144 д.е. Затем определяем число десятых долей расстояния от ближайшего сверху деления шкалы до индекса (в нашем примере 0,3) и умножаем на это число цену деления данного участка шкалы: $2 \cdot 0,3 = 0,6$ д.е.



№33

Таким образом, окончательный отсчет будет: $144 + 0,6 = 144,6$ д.е.

Нижний конец линейки, несущей каретку с магнитом, скреплен с дисководным основанием линейки, которое с помощью четырех винтов связано со стаканом. В свою очередь, стакан тремя винтами прикреплен к основанию дефлектора. Размеры основания согласованы с размерами чашки пеленгатора, на которую дефлектор устанавливается при измерении магнитных сил. Для правильной ориентировки дефлектора относительно визирной плоскости в его основании проточены направляющие пазы, а чашка пеленгатора имеет направляющий штифт.

Взаимное расположение основания линейки, стакана и основания дефлектора можно изменять путем поворота названных деталей на небольшие углы вокруг вертикальной оси. Правильность положения этих частей дефлектора определяется во время выверки.

Важной частью прибора является вспомогательный магнит, который устанавливается в гнезде под основанием линейки и закрепляется винтом. Этот магнит имеет цилиндрическую форму. Его длина равна 66 мм, а диаметр 5 мм. На одном из концов магнита проточена кольцевая риска, отмечающая положение северного полюса. На противоположном конце находится ограничительная шпилька. Ось вспомогательного магнита располагается под прямым углом к оси измерительного магнита.

Дефлектор Колонга имеет приспособление для микрометрического перемещения каретки с измерительным магнитом. Это приспособление состоит из маховичка, зубчатого колеса, зубчатой планки и вертикального штока. Поворот оси с маховичком приводит к перемещению штока вверх или вниз. Шток пропущен через канальное отверстие каретки и может быть соединен с нею зажимным винтом. Затянув этот винт и вращая маховик микрометрического приспособления, можно перемещать каретку с магнитом более медленно и плавно, чем вручную.

Хранится дефлектор в деревянном футляре, в котором, кроме самого прибора, находятся: магнит-успокоитель, применяемый во время измерений сил для погашения колебаний картушки; лупа для осмотра компасных шпилек; брусок белорецкого кварца, используемый для заточки затупившихся шпилек; отвертка для вывинчивания шпилек из котелка и установки их в котелок; латунная отвертка, применяемая при вы-

верке дефлектора; запасная нить предметной мишени пеленгатора; запасные фасонные винты каретки дефлектора; аттестат дефлектора.

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ СИЛ С ПОМОЩЬЮ ДЕФЛЕКТОРА КОЛОНГА

Во время девиационных работ дефлектор используется для измерения горизонтальных и вертикальных магнитных сил на судне и на берегу, а также проекций горизонтальных сил на судовые оси x и y .

Для подготовки дефлектора к измерению горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля земли H и судовой H' следует: становить измерительный магнит в каретку горизонтально и так, чтобы его северный конец был обращен вправо, если смотреть на дефлектор со стороны маховичка; вставить вспомогательный магнит в гнездо под основанием линейки северным концом к маховичку микрометрического приспособления.

ИЗМЕРЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ H ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА. Порядок работы при измерении H следующий.

1. Вынести котелок компаса с пеленгатором на берег и установить его на девиационную треногу в таком месте, где магнитное поле Земли не искажено полями каких-либо металлических сооружений, электрических установок и т.п.

2. Закрепить вилку с котелком и установить пеленгатор так, чтобы под призмой наблюдался отсчет 180° (S) картушки. При этом визирная плоскость пеленгатора окажется совмещенной с плоскостью магнитного меридиана. Заметить для контроля отсчет пеленгатора по азимутальному кругу.

3. Подготовить дефлектор к измерению горизонтальных сил и поставить его на чашку пеленгатора так, чтобы ось измерительного магнита находилась в визирной плоскости пеленгатора, а северный конец магнита был обращен к норду.

4. Перемещая каретку с магнитом, подвести под призму пеленгатора отсчет 270° (W) картушки.

5. Взять отсчет по шкале горизонтальных сил.

ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ H' НА ЛЮБОМ КУРСЕ СУДНА. Измерение H' производится в следующем порядке.

1. Лечь по компасу на требуемый курс.

2. Установить пеленгатор в плоскости компасного меридиана, т.е. подвести под призму отсчет 180° (S) картушки; заметить положение пеленгатора по азимутальному кругу.

3. Установить на компас дефлектор, расположив его измерительный магнит в визирной плоскости пеленгатора северным концом в сторону норда.

4. Передвигая каретку с измерительным магнитом, подвести под призму пеленгатора отсчет 270° (W) картушки.

5. Взять отсчет по шкале горизонтальных сил.

Отметим, что изложенное правило измерения силы H' справедливо для всех без исключения компасных курсов.

В том случае, когда судно рыскает, при измерении силы H' пеленгатор лучше устанавливать в плоскости компасного меридиана не по отсчету картушки (180°), а по шкале азимутального круга. На компасном курсе норд пеленгатор следует поставить на отсчет 0° азимутального круга, на курсе зюйд – на отсчет 180° , а на курсах ост и вест – соответственно на отсчеты 270° и 90° .

Точность установки пеленгатора и подведения отсчета W картушки под призму при измерении сил должна быть $0,2 \div 0,3^\circ$.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФЛЕКТОРОМ ПРОЕКЦИЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СИЛ. Горизонтальная сила H' , как указывалось выше, может быть спроектирована на судовые оси x и y . Проекция силы H' на ось x называется продольной проекцией и обозначается через X' . Она равна $-X' = H' \cos k'$.

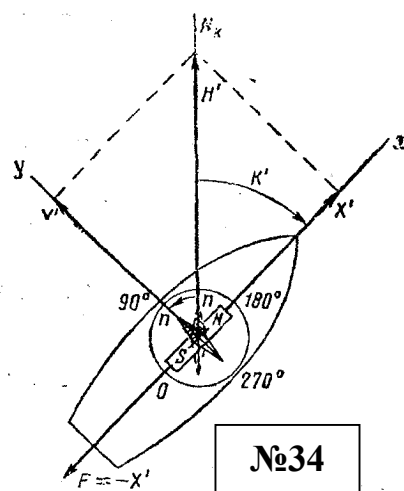
Проекция X' является равнодействующей всех продольных сил, приложенных к картушке компаса на судне (первое уравнение Пуассона).

Вторая проекция называется поперечной и обозначается через Y' . Она определяется выражением $-Y' = -H' \sin k'$.

Эта проекция представляет собою алгебраическую сумму всех поперечных сил, приложенных к картушке компаса на судне (второе уравнение Пуассона).

Знаки или направления проекций X' и Y' зависят от того, в какой четверти располагается курс судна. Так, проекция X' положительна на курсах в NO и NW четвертях и отрицательна в SO и SW четвертях. Проекция Y' имеет знак плюс на курсах, расположенных в SW и NW четвертях, и знак минус при курсах в NO и SO четвертях.

На измерении проекций X' и Y' основаны некоторые способы уничтожения девиации. Кроме того, проекции приходится измерять при выверке дефлектора.



Измерение дефлектором продольной и поперечной проекций, как и измерение сил H и H' , сводится к компенсации проекций с помощью измерительного магнита. Это означает, что во всех случаях ось измерительного магнита нужно располагать в той плоскости, в которой действует измеряемая проекция: при измерении продольной проекции X' магнит должен быть установлен в ДП судна, а при измерении поперечной проекции Y' – перпендикулярно ДП.

Пусть, например, требуется измерить проекцию X' на курсе в NO четверти, на котором она направлена к носу судна, т.е. имеет положительный знак (**рисунок 34**).

Пользуясь шкалой азимутального круга, совместим визирную плоскость пеленгатора с плоскостью действия проекции (с ДП судна) и поставим на чашку пеленгатора дефлектор без вспомогательного магнита. При этом, измерительный магнит дефлектора расположим так, чтобы он лежал в визирной плоскости пеленгатора и чтобы северный конец магнита был направлен в ту сторону, куда направлена сама проекция, в данном случае – к носу судна. Тогда магнит, действуя на картушку силой F , направленной противоположно проекции X' , будет частично компенсировать эту проекцию. Точная компенсация достигается путем изменения силы F , а практически – передвижением измерительного магнита вверх или вниз по линейке дефлектора.

Когда проекция X' и сила F окажутся взаимно компенсированными, на картушку компаса будет действовать только поперечная проекция Y' , величина и направление которой сохраняются без изменений. В результате картушка своею осью ns установится перпендикулярно ДП судна, и под призмой пеленгатора окажется отсчет

270° (W). Иными словами, при измерении продольной проекции X' на курсе в NO четверти измерительный магнит дефлектора нужно передвигать до тех пор, пока под призму пеленгатора не подойдет отсчет W картушки. При этом отсчете измеряемая проекция X' будет полностью компенсирована силой F магнита и положение каретки с магнитом на шкале горизонтальных сил укажет величину X' .

Если требуется измерить на том же курсе поперечную проекцию Y' , то нужно расположить пеленгатор и дефлектор перпендикулярно диаметральной плоскости судна. Так как проекция Y' на курсе в NO четверти имеет отрицательный знак, то предметную мишень пеленгатора и северный конец измерительного магнита нужно направить к левому борту. Затем, передвигая каретку с измерительным магнитом, необходимо добиться компенсации проекции Y' силой F магнита. В момент компенсации картушка под действием продольной проекции X' повернется по часовой стрелке и под призму пеленгатора подойдет отсчет O^{st} . В этом случае вспомогательный магнит дефлектора также оказывается ненужным.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФЛЕКТОРОМ ПРОЕКЦИЙ X' И Y' . Порядок измерения проекций X' и Y' на любом компасном курсе следующий.

1. Лечь на требуемый компасный курс.
2. Пользуясь азимутальным кругом котелка, установить пеленгатор так, чтобы при измерении проекции X' его визирная плоскость лежала в ДП, а при измерении проекции Y' – перпендикулярно ДП судна; предметная мишень пеленгатора при этом должна быть направлена в ту сторону, куда направлена измеряемая проекция.
3. Подготовить дефлектор к измерению проекций, для чего поставить измерительный магнит горизонтально, а вспомогательный магнит удалить из дефлектора.
4. Установить дефлектор на чашку пеленгатора, совместив ось измерительного магнита с визирной плоскостью и направив северный полюс магнита к предметной мишени.
5. Перемещая каретку с магнитом, подвести под призму пеленгатора тот из отсчетов 90° или 270° картушки, который до установки дефлектора был ближе к призме.
6. Взять отсчет по шкале горизонтальных сил.

Когда наблюдения проводят на курсе, близком к одному из главных румбов, то при измерении большей проекции иногда необходимо поставить в дефлектор вспомогательный магнит, так как вторая проекция может оказаться настолько малой, что ее будет недостаточно для преодоления трения точки о шпильку.

В таблице указаны отсчеты азимутального круга (АК), на которые нужно устанавливать пеленгатор при измерении проекций на различных курсах судна, а также те отсчеты картушки, которые при этом следует подводить под призму.

Четверти, в которых располагается курс судна	Направление и знаки проекций		Отсчет пеленгатора по АК к отсчету картушки, подводимый под призму (в скобках)	
	X'	Y'	X'	Y'
NO	К носу, +	К лев. борту, –	0° (W)	270° (O^{st})
SO	К корме, –	К лев. борту, –	180° (O^{st})	270° (W)
SW	К корме, –	К прав. борту, +	180° (W)	90° (O^{st})
NW	К носу, +	К прав. борту, +	0° (O^{st})	90° (W)

Во избежание ошибок перед началом измерения проекций необходимо проверить положение котелка в нактоузе компаса. При правильном положении котелка отсчет 0° азимутального круга должен быть обращен к корме судна.

Такую же последовательность надо соблюдать при измерении проекций силы H магнитного поля Земли на любое горизонтальное направление. Однако в этом случае отсчеты азимутального круга для установки пеленгатора будут другими. Например, при измерении проекции, направленной под углом 60° к магнитному меридиану, пеленгатор следует поставить на отсчет 60° азимутального круга. Если измеряется проекция, направленная под углом 45° к меридиану, то и пеленгатор нужно расположить под тем же углом, т. е. на отсчете 45° азимутального круга, и т.д.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФЛЕКТОРОМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИЛ Z И Z' . Вертикальная составляющая Z напряженности магнитного поля Земли и судовая вертикальная сила Z' измеряются дефлектором при уничтожении креновой и электромагнитной девиации. Для подготовки дефлектора к измерению вертикальных сил нужно измерительный магнит установить вертикально в северном полушарии – нордовым концом вверх, а в южном – вниз; убрать из дефлектора вспомогательный магнит.

Составляющую Z измеряют следующим образом.

1. Устанавливают на берегу девиационную треногу и помещают в вилку треноги креновой котелок с наклонной картушкой.

2. Устанавливают на чашку котелка дефлектор, предварительно подготовленный к измерению вертикальных сил.

3. Поднимая или опуская каретку с магнитом, приводят стрелки наклонной картушки в горизонтальное положение.

4. Берут отсчет по шкале вертикальных сил.

При измерении судовой вертикальной силы Z' соблюдают такую последовательность.

1. Ложатся на заданный компасный курс.

2. Заменяют котелок компаса креновым котелком с наклонной картушкой.

3. Поставив на чашку котелка дефлектор и перемещая его измерительный магнит, добиваются горизонтальности стрелок наклонной картушки.

4. Берут отсчет по шкале вертикальных сил.

НЕОБХОДИМОСТЬ УНИЧТОЖЕНИЯ ДЕВИАЦИИ

Казалось бы, что для использования магнитного компаса в целях судовождения нет необходимости уничтожать девиацию, и как бы она ни была велика, достаточно лишь составить таблицу девиации. Но такой взгляд неверен.

На современном судне девиация магнитного компаса может достигать нескольких десятков градусов. При такой девиации вычислять таблицу по приближенной формуле – $\delta = A + B \sin k' + C \cos k' + D \sin 2k' + E \cos 2k'$, нельзя, потому что эта формула справедлива только для малых девиаций. Составление же таблицы девиации по формуле – $\sin \delta = A' \cos \delta + B' \sin k' + C' \cos k' + D' \sin(2k' + \delta) + E' \cos(2k' + \delta)$, сопряжено с длительными и сложными вычислениями.

Предположим, что девиация вычислена без предварительного уничтожения и составлена таблица девиации для 36 курсов (k' – компасный и k – магнитный курс).

k'	δ	k	k'	δ	k	k'	δ	k
0°	-6°	354°	120°	$+40^\circ$	160°	240°	-33°	207°

10	-10	0	130	+42	172	250	-36	214
20	-13	7	140	+44	184	260	-35	225
30	-15	15	150	+41	191	270	-30	240
40	-17	23	160	+34	194	280	-99	258
50	-18	32	170	+26	196	290	-15	275
60	-18	42	180	+18	198	300	-10	290
70	-14	56	190	+15	205	310	-6	304
80	-3	77	200	+9	209	320	-3	317
90	+15	105	210	-6	204	330	-1	329
100	+28	128	220	-20	200	340	0	340
110	+35	145	230	-30	200	350	-3	347

Рассматривая эту таблицу, не трудно убедиться, что пользование ею сопряжено с рядом неудобств:

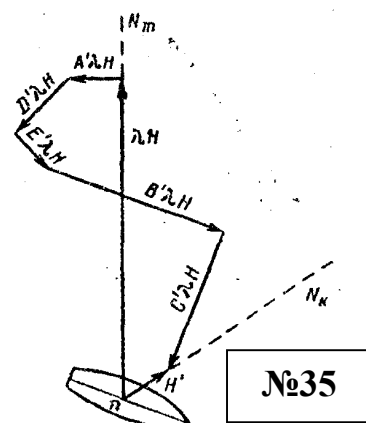
1. Девиация для одних и тех же компасных и магнитных курсов значительно отличается по величине. Например, для компасного курса 160° $\delta=+34^\circ$, а для такого же магнитного курса $\delta=+40^\circ$. Поэтому при большой девиации необходимо иметь две отдельные таблицы девиации: одну для компасных и другую для магнитных курсов.

2. При выборе девиации на промежуточные курсы, что делается всегда простым интерполированием, может быть допущена значительная ошибка, ввиду того, что при большой девиации непропорциональность ее изменения от курса особенно заметна.

3. Изменение курса судна по компасу при больших девиациях не соответствует действительному повороту судна. Если, например, судно повернет по компасу с 70° на 80° , т.е. изменит компасный курс на 10° , то действительный поворот судна составит 21° , потому что магнитный курс судна изменится при этом на 21° . На отдельных курсах может случиться и так, что при повороте судна вправо компасный курс будет уменьшаться, а при повороте влево – увеличиваться.

Если у компаса девиация велика, то это означает, что все силы, вызывающие девиацию, или некоторые из них, велики по сравнению с направляющей силой λH . При этом может оказаться, что эти силы на некоторых курсах будут так направлены относительно магнитного меридиана, что их равнодействующая H' окажется по величине близкой к нулю (**рис. 35**). В этих случаях компас перестанет работать, так как сила H' , управляющая катушкой компаса, не сможет, при повороте судна преодолеть силу трения топки о шпильку и катушка компаса будет механически увлекаться судном, показывая один и тот же курс.

Таким образом, для обеспечения надежности и точности показаний магнитного компаса в любых условиях плавания необходимо уничтожать девиацию.



ПРИНЦИП УНИЧТОЖЕНИЯ ДЕВИАЦИИ

Девиация магнитного компаса возникает в результате искажения магнитного поля Земли магнитным полем судна. Вполне понятно, что изолировать магнитный компас от магнитного поля судна и устранить таким образом девиацию невозможно.

Поэтому для уничтожения девиации компенсируют магнитное поле судна в том месте, где установлен компас, искусственно создавая с помощью постоянных магнитов и брусков мягкого железа такие магнитные силы, которые равны по величине, но противоположно направлены силам, вызывающим девиацию. В этом и заключается принцип уничтожения девиации.

В прямом положении судна девиация магнитного компаса является результатом действия на компас пяти магнитных сил: $A'\lambda H$, $B'\lambda H$, $C'\lambda H$, $D'\lambda H$, $E'\lambda H$. Эти силы имеют различное происхождение и производят неодинаковую по характеру девиацию: постоянную, полукруговую и четвертную.

Силы $A'\lambda H$, $D'\lambda H$, $E'\lambda H$, вызывающие постоянную и четвертную девиацию, происходят от продольного и поперечного мягкого в магнитном отношении судового железа. Следовательно, и компенсация этих сил может быть осуществлена при помощи только мягкого в магнитном отношении железа. Например, если попытаться компенсировать силу $D'\lambda H$ при помощи постоянных магнитов, то компенсация не получится, так как при перемене курса судна направление силы относительно судна изменяется, а направление силы, образуемой постоянными магнитами, остается относительно судна неизменным.

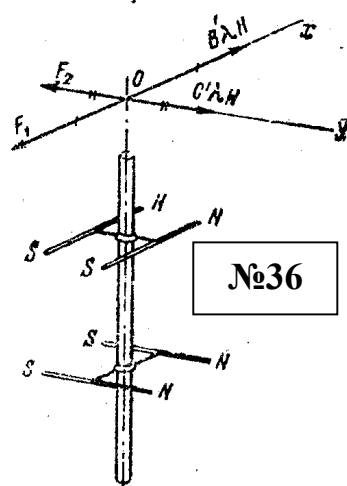
Силы $B'\lambda H = cZ + P$, $C'\lambda H = fX + Q$, вызывающие полукруговую девиацию, происходят главным образом от твердого в магнитном отношении судового железа (силы P и Q) и частично от мягкого в магнитном отношении судового железа, расположенного перпендикулярно палубе (силы cZ и fZ). Следовательно, силы P и Q надо компенсировать постоянными магнитами, а силы cZ и fZ – брусками мягкого железа.

Однако силы cZ и fZ от курса судна не зависят и в данной магнитной широте действуют подобно постоянным силам P и Q . Поэтому силы $B'\lambda H$, $C'\lambda H$ компенсируются при помощи постоянных магнитов. Но компенсация сил $B'\lambda H$, $C'\lambda H$ постоянными магнитами справедлива лишь для какой-нибудь одной магнитной широты.

При перемене судном магнитной широты составляющие cZ и fZ изменяются, вследствие чего компенсация сил $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ нарушается. Однако при плавании судна в экваториальных и средних широтах силы cZ и fZ при перемене магнитной широты изменяются настолько незначительно, что этими изменениями можно пренебречь. Если в процессе плавания судно значительно изменяет магнитную широту, то изменением сил cZ и fZ пренебрегать нельзя, и в этом случае для обеспечения постоянства компенсации сил $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ принимаются специальные меры.

Компенсация сил $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ производится магнитами-уничтожителями, которые придаются к компасу специально для этой цели. Магниты-уничтожители укрепляются в нактоузе компаса на трубе девиационного прибора при помощи специальных кареток, которые удерживают их параллельно судовым осям: продольной и поперечной (рисунок 36). Центр картушки компаса, находящийся в точке O , оказывается при этом расположенным на перпендикулярах, восстановленных из центров магнитов. Поэтому продольные магниты создают в центре картушки компаса продольную силу F_1 а поперечные магниты – поперечную силу F_2 .

Силы F_1 и F_2 действуют всегда в сторону южных



полюсов магнитов. Следовательно, магниты-уничтожители необходимо установить так, чтобы их северные полюса были обращены в сторону действия сил, подлежащих компенсации. Если, например, сила $B'\lambda H$ направлена в нос судна, то продольные магниты своими северными полюсами также должны быть обращены в нос судна, при такой установке они создают у картушки компаса силу, направленную в корму судна, т.е. противоположную силе $B'\lambda H$.

Величины сил F_1 и F_2 зависят от расстояний магнитов до картушки компаса, и при изменении этого расстояния они изменяются пропорционально кубу расстояния. Перемещая каретки с магнитами по трубе девиационного прибора вверх или вниз, можно найти такое положение магнитов, при котором силы F_1 и F_2 окажутся равными силами $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ и, следовательно, компенсируют их.

Работа по уничтожению полукруговой девиации и заключается в правильной установке продольных и поперечных магнитов-уничтожителей.

При работе с магнитами-уничтожителями рекомендуется руководствоваться следующими правилами:

1. Магниты-уничтожители необходимо подбирать такой силы, чтобы каретки с магнитами располагались по возможности в нижней части девиационного прибора и не слишком близко друг от друга.

2. Если для компенсации одной из сил окажется недостаточно двух магнитов, надо заменить магниты более сильными или в крайнем случае установить третью каретку с дополнительными магнитами.

3. Передвигать каретки с магнитами следует осторожно, особенно, когда магниты расположены в верхней половине девиационного прибора. При передвижении кареток нужно следить за тем, чтобы их шпонки не выходили из пазов трубы девиационного прибора, поэтому не следует слишком ослаблять стопорные винты кареток.

Работа по уничтожению девиации магнитного компаса выполняется в следующем порядке: вначале уничтожается четвертная девиация, затем креновая и, наконец, полукруговая. Постоянная девиация вообще не уничтожается вследствие малости силы $A'\lambda H$.

Такой порядок девиационных работ обусловлен следующими причинами. Для уничтожения четвертной девиации применяются бруски мягкого в магнитном отношении железа, которые устанавливаются в непосредственной близости от компаса. Однако это железо, как и любое железо, не является абсолютно мягким в магнитном отношении и обладает некоторой долей постоянного магнетизма. Следовательно, установкой брусков мягкого железа уничтожается четвертная девиация, но вводится полукруговая и креновая девиации. Поэтому креновую и полукруговую девиацию уничтожают после четвертной.

Креновая девиация уничтожается при помощи так называемого кренового магнита, помещенного вертикально в трубе девиационного прибора. Если ось кренового магнита не строго перпендикулярна плоскости картушки компаса или не проходит через центр картушки, то этот магнит, уничтожая креновую девиацию, вводит полукруговую. Поэтому полукруговую девиацию нужно уничтожать после креновой.

Чаще всего на судне приходится уничтожать полукруговую девиацию совместно с креновой, так как обе они часто изменяются.

Ни одним из способов девиацию нельзя уничтожить до нуля. Поэтому после

уничтожения девиации необходимо составить таблицу остаточной девиации и пользоваться ею для исправления показаний магнитного компаса.

УНИЧТОЖЕНИЕ ДЕВИАЦИИ НА ЧЕТЫРЕХ ГЛАВНЫХ МАГНИТНЫХ КУРСАХ (СПОСОБ ЭРИ)

При уничтожении полукруговой девиации способом Эри силы $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ компенсируют на четырех главных, магнитных курсах по девиациям, наблюдаемым на этих курсах. Поэтому для применения способа Эри необходимо направить судно на четыре главных магнитных курса и определить на каждом из них девиацию.

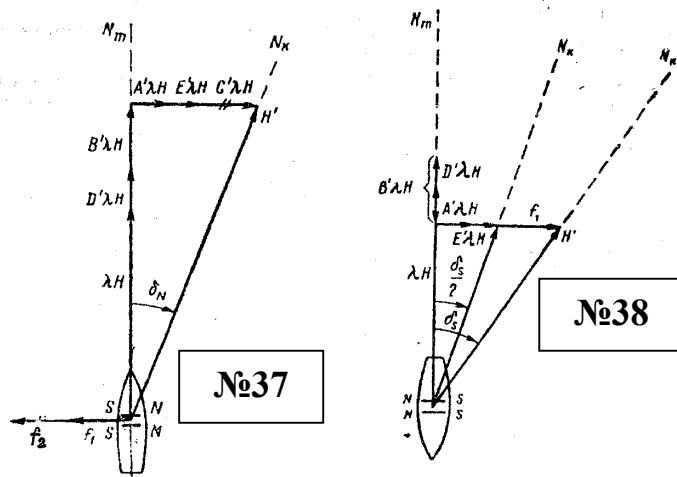
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА. Пусть судно лежит на магнитном курсе N . Построим многоугольник сил, действующих на компас, считая их положительными (**рисунок 37**). Учитывая, что величина и направление равнодействующей силы H' от порядка построения сил не зависят, построим силы в следующей очередности $\lambda H, D'\lambda H, B'\lambda H, A'\lambda H, E'\lambda H, C'\lambda H$, т.е. сначала построим силы, действующие на курсе N по магнитному меридиану, а затем силы, действующие перпендикулярно к нему. Как видно из рисунка, на магнитном курсе N девиацию δ_N вызывает сумма сил $-A'\lambda H + E'\lambda H + C'\lambda H$.

Если бы было известно, какую часть девиации δ_N вызывает сила $C'\lambda H$, то, уменьшив поперечными магнитами девиацию δ_N на эту величину, мы компенсировали бы таким образом силу $C'\lambda H$. Но нам неизвестна девиация, вызываемая силой $C'\lambda H$, поэтому для компенсации этой силы поступим следующим образом: перемещая поперечные магниты, доведем δ_N до нуля. Этим самым компенсируется не только подлежащая компенсации сила $C'\lambda H$, но и силы $A'\lambda H$ и $E'\lambda H$, т.е. доводя δ_N до нуля, мы создаем поперечными магнитами силу $-F_1 = -(A'\lambda H + E'\lambda H + C'\lambda H)$. Полагая $f_1 = -(A'\lambda H + E'\lambda H)$ и $f_2 = -C'\lambda H$, силу F_1 можно выразить так $-F_1 = f_1 + f_2$.

Сила f_2 , созданная магнитами-уничтожителями, компенсирует силу $C'\lambda H$ на всех курсах судна, поскольку равенство $f_2 = -C'\lambda H$ справедливо для всех курсов.

Равенство же $f_1 = -(A'\lambda H + E'\lambda H)$ справедливо только для магнитного курса N , так как только на этом курсе поперечная сила f_1 противоположна по направлению сумме сил $A'\lambda H$ и $E'\lambda H$.

Следовательно, надо изменить установку поперечных магнитов так, чтобы исключить силу f_1 . Для этого направим судно на магнитный курс S . Расположение сил на магнитном курсе S после доведения δ_N до нуля поперечными магнитами-уничтожителями показано на **рисунке 38**, причем силы $C'\lambda H$ и f_2 не показаны, ввиду того, что они взаимно компенсируются. Из рисунка



видим, что девиация δ_S возникает от сил $A'\lambda H + E'\lambda H$ и f_1 . Силы f_1 и $A'\lambda H + E'\lambda H$ по величине равны между собой, поэтому сила f_1 вызывает половину девиации δ_S . Следовательно, для исключения силы f_1 надо переместить поперечные магниты так, чтобы девиация δ_S уменьшилась в два раза. При новой установке поперечные магниты будут действовать на компас только силой f_2 и поэтому будут компенсировать только силу $C'\lambda H$.

Подобным же образом, но при помощи продольных магнитов можно компенсировать силу $B'\lambda H$ на магнитных курсах O^{st} и W .

На **рисунке 39** показано расположение сил на магнитном курсе O^{st} . Из рисунка видим, что на этом курсе девиацию $\delta_{O^{st}}$ вызывают силы $A'\lambda H - E'\lambda H$ и $B'\lambda H$. Перемещая продольные магниты, доведем девиацию $\delta_{O^{st}}$ до нуля, т.е. создадим с помощью продольных магнитов силу $-F_2 = -(A'\lambda H - E'\lambda H) - B'\lambda H$. Полагая $f'_1 = -(A'\lambda H - E'\lambda H)$ и $f'_2 = -B'\lambda H$, силу F_2 можно выразить так $-F_2 = f'_1 + f'_2$.

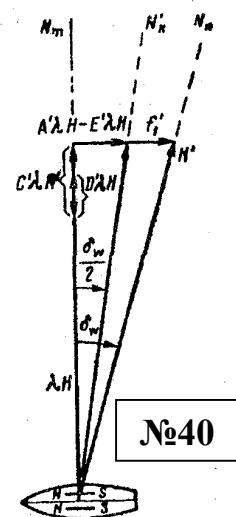
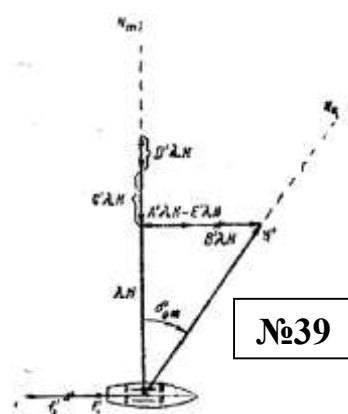
Сила f'_2 , созданная магнитами-уничтожителями, компенсирует силу $B'\lambda H$ на всех курсах судна. Сила же f'_1 взаимно компенсируется с силой $(A'\lambda H - E'\lambda H)$ только на магнитном курсе O^{st} , поскольку только на этом курсе продольная сила f'_1 противоположна по направлению силе $(A'\lambda H - E'\lambda H)$.

Чтобы исключить силу f'_1 , направим судно на магнитный курс W . Направление сил, действующих на компас на курсе W , показано на **рисунке 40**. Силы f'_2 и $B'\lambda H$ на рисунке не показаны, так как они взаимно компенсируются. Из рисунка видим, что девиация δ_W вызывается силами $(A'\lambda H - E'\lambda H)$ и f'_1 . Силы f'_1 и $(A'\lambda H - E'\lambda H)$ по величине равны между собой, поэтому сила f'_1 создает половину девиации δ_W . Следовательно, для ее исключения надо перемещением продольных магнитов уменьшить девиацию δ_W в два раза. При новой установке продольные магниты будут действовать на компас силой f'_2 и поэтому будут компенсировать только силу $B'\lambda H$.

Обратим внимание на одну неточность, которая была допущена в приведенных выше рассуждениях. На курсах S и W уменьшалась вдвое девиация, в то время как надо было уменьшать не девиацию, а силу. Однако, как показывает анализ, величина допущенной при этом ошибки практического значения не имеет.

Компенсация сил $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ по способу Эри может быть выполнена и другим приемом. На трубе девиационного прибора, по которой перемещаются каретки с магнитами-уничтожителями, нанесены деления, пропорциональные силам действия магнитов на картушку компаса. Поэтому для компенсации, например, силы $C'\lambda H$ можно поступить следующим образом.

На магнитном курсе N доведем поперечными магнитами-уничтожителями девиацию δ_N до нуля и заметим отсчет I каретки с магнитами по шкале девиационного прибора. На магнитном курсе S теми же магнитами-уничтожителями вновь доведем девиацию δ_S до нуля и также заметим отсчет II каретки по шкале девиационного прибора. Разность отсчетов I и II шкал девиационного прибора пропорциональна сумме



сил $A'\lambda H + E'\lambda H + f_l$, вызывающих девиацию δ_s . Поэтому, переставив каретку с поперечными магнитами-уничтожителями на средний отсчет $(I+II)/2$ шкалы девиационного прибора, мы уменьшим сумму сил $A'\lambda H + E'\lambda H + f_l$ до половины ее значения и таким образом избавимся от влияния силы f_l . Сила $C'\lambda H$ при этом будет компенсирована.

Точно так же, пользуясь делениями шкалы девиационного прибора, можно компенсировать силу $B'\lambda H$ продольными магнитами на магнитных курсах O^{st} и W .

Второй прием несколько точнее первого, так как при втором приеме на курсах S и W доводится до половины сила, а не девиация.

При уничтожении полукруговой девиации способом Эри может быть принята любая последовательность перемены курсов. Можно, например, вначале на любых двух взаимно перпендикулярных главных магнитных курсах довести соответствующими магнитами девиацию до нуля, а затем на курсах, противоположных первым, теми же магнитами довести ее до половины.

ПОРЯДОК РАБОТЫ СПОСОБОМ ЭРИ

Первый прием. Чтобы уничтожить полукруговую девиацию необходимо выполнить следующее.

1. Лечь на магнитный курс N и поперечными магнитами-уничтожителями довести девиацию δ_N до нуля.

2. Лечь на магнитный курс S и поперечными магнитами-уничтожителями уменьшить девиацию δ_s в два раза.

Сила $C'\lambda H$ компенсирована.

3. Лечь на магнитный курс O^{st} и продольными магнитами-уничтожителями довести девиацию $\delta_{O^{st}}$ до нуля.

4. Лечь на магнитный курс W и продольными магнитами-уничтожителями уменьшить девиацию δ_W в два раза.

Сила $B'\lambda H$ компенсирована.

Второй прием. Для уничтожения девиации необходимо следующее.

1. Лечь на магнитный курс N и поперечными магнитами-уничтожителями довести девиацию δ_N до нуля; заметить отсчет каретки с поперечными магнитами по шкале девиационного прибора.

2. Лечь на магнитный курс S и теми же поперечными магнитами-уничтожителями довести девиацию δ_s до нуля; заметить отсчет каретки с поперечными магнитами по шкале девиационного прибора.

3. Переставить каретку с поперечными магнитами-уничтожителями на средний отсчет.

Сила $C'\lambda H$ компенсирована.

4. Лечь на магнитный курс O^{st} и продольными магнитами-уничтожителями довести девиацию $\delta_{O^{st}}$ до нуля; заметить отсчет каретки с продольными магнитами по шкале девиационного прибора.

5. Лечь на магнитный курс W и теми же продольными магнитами-уничтожителями довести девиацию δ_W до нуля; заметить отсчет каретки с продольными магнитами по шкале девиационного прибора.

6. Переставить каретку с продольными магнитами-уничтожителями на средний отсчет.

Сила $B'\lambda H$ компенсирована.

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О СПОСОБЕ ЭРИ. Способ Эри является одним из наиболее распространенных способов уничтожения полукруговой девиации.

Основными достоинствами этого способа являются простота его применения и высокая точность результатов. Этот способ не требует вспомогательных приборов и поэтому применим для компасов любых систем.

Кроме того, при работе способом Эри можно уничтожить девиацию одновременно у всех компасов.

Однако способ Эри имеет некоторые недостатки. При работе способом Эри приходится ложиться на магнитные курсы и на каждом из них определять девиацию, что возможно лишь при наличии на берегу створа или в крайнем случае отдаленного предмета. При отсутствии ориентиров или при плохой видимости способ Эри может быть применен только по сличению с гирокомпасом. Однако в этом случае утрачивается основное преимущество способа Эри – его точность. Действительно, направляя судно на главные магнитные курсы, иногда приходится несколько раз совершать циркуляцию, что приводит к накапливанию у гирокомпаса инерционных погрешностей. Следовательно, девиация, определенная по сличению с гирокомпасом, будет содержать ошибку. Инерционная погрешность гирокомпаса, возникающая при маневре судна, особенно велика при плавании в высоких широтах, поэтому в высоких широтах уничтожать девиацию магнитного компаса способом Эри по сличению с гирокомпасом не рекомендуется.

Иногда способом Эри пользуются для уничтожения полукруговой девиации, выполняя его на главных компасных курсах и устраняя таким образом неудобства, связанные с приведением судна на магнитные курсы.

Выполненный на главных компасных курсах способ Эри является приближенным способом уничтожения полукруговой девиации; он дает хорошие результаты лишь в тех случаях, когда девиация до уничтожения не превышает $6\div 7^\circ$.

УНИЧТОЖЕНИЕ ДЕВИАЦИИ НА ЧЕТЫРЕХ ГЛАВНЫХ КОМПАСНЫХ КУРСАХ (СПОСОБ КОЛОНГА)

При уничтожении полукруговой девиации способом Колонга силы $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ компенсируют по результатам их измерения на четырех главных компасных курсах. Для применения способа Колонга необходимо иметь дефлектор.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА КОЛОНГА. Воспользуемся формулой равнодействующей силы:

$$H' = \lambda H \cos \delta + A' \lambda H \sin \delta + B' \lambda H \cos k' - C' \lambda H \sin k' + D' \lambda H \cos (2k' + \delta) - E' \lambda H \sin (2k' + \delta)$$

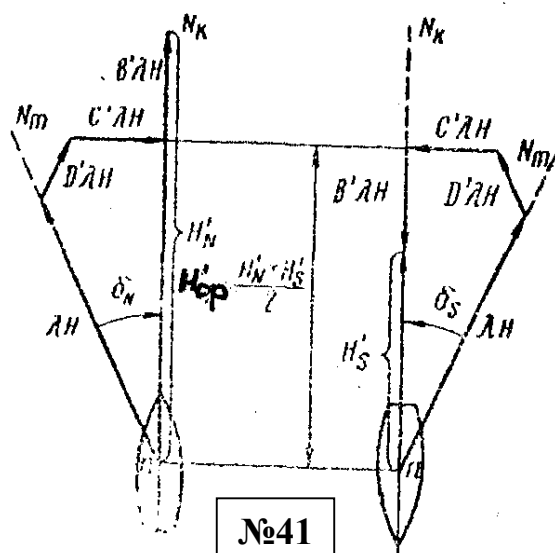
Полагая, что коэффициенты A' и E' равными нулю, напомним эту формулу для компасных курсов N и S :

$$H'_N = \lambda H \cos \delta_N + D' \lambda H \cos \delta_N + B' \lambda H; H'_S = \lambda H \cos \delta_S + D' \lambda H \cos \delta_S - B' \lambda H$$

где δ_N и δ_S – девиации, наблюдаемые соответственно на курсах N и S (рисунк 41).

При равенстве нулю коэффициентов A' и E' девиации δ_N и δ_S равны между собой по абсолютной величине.

Используя точную формулу девиации (1) и учитывая равенство девиаций δ_N и δ_S , получаем следующие выражения для равнодействующих H'_N и H'_S :



$$\sin \delta = A' \cos \delta + B' \sin k' + C' \cos k' + D' \sin(2k' + \delta) + E' \cos(2k' + \delta) \quad (1)$$

$$H'_N = \lambda(1 + D') \cos \delta_{N,S} + B' \lambda H; \quad H'_S = \lambda(1 + D') \cos \delta_{S,N} - B' \lambda H$$

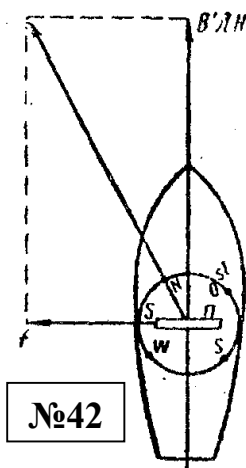
Из этих выражений видно, что при компенсированной силе $B' \lambda H$, т.е. при $B' \lambda H = 0$, равнодействующие силы H'_N и H'_S равны по величине:

$$H'_N = H'_S = \lambda(1 + D') \cos \delta_{N,S}$$

Следовательно, если на компасном курсе N и S довести равнодействующую силу продольными магнитами-уничтожителями до величины $\lambda(1 + D') \cos \delta_{N,S}$, то сила $B' \lambda H$ при этом будет компенсирована.

Величина $\lambda(1 + D') \cos \delta_{N,S}$ рассчитывается как среднее значение H'_N и H'_S .

Таким образом, для компенсации силы $B' \lambda H$ надо на компасных курсах N и S измерить дефлектором силы H'_N и H'_S и рассчитать их среднюю величину H'_{CP} . Затем, продолжая лежать на одном из этих курсов, например на курсе N , и не снимая дефлектора, переставить его измерительный магнит на средний отсчет H'_{CP} . При такой установке, измерительный магнит дефлектора компенсирует силу $\lambda(1 + D') \cos \delta_{N,S}$ и катушка компаса будет находиться под действием двух сил: силы $B' \lambda H$ и силы f вспомогательного магнита ns дефлектора (**рисунок 42**). Если теперь, перемещая продольные магниты, подведем W катушки компаса под призму пеленгатора, т.е. совместим линию NS катушки с направлением силы f , то сила $B' \lambda H$ будет компенсирована.



Силу $C' \lambda H$ компенсируют на компасных курсах O^{st} и W .

Напишем выражения равнодействующих сил $H'_{O^{st}}$ и H'_W для компасных курсов O^{st} и W (**рисунок 43**), сохраняя прежнее условие – $A' = E' = 0$:

$$H'_{O^{st}} = \lambda H \cos \delta_{O^{st}} - D' \lambda H \cos \delta - C' \lambda H; \quad H'_W = \lambda H \cos \delta_W - D' \lambda H \cos \delta_W + C' \lambda H$$

Используя точную формулу девиации (1) и учитывая, что $A' = E' = 0$, получаем следующие выражения для равнодействующих $H'_{O^{st}}$ и H'_W :

$$H'_{O^{st}} = \lambda(1 - D') H \cos \delta_{O^{st}W} - C' \lambda H; \quad H'_W = \lambda(1 - D') H \cos \delta_{O^{st}W} + C' \lambda H$$

Из этих выражений видно, что при компенсированной силе $C'\lambda H$ равнодействующие силы $H'_{O^{st}}$ и H'_W равны по величине:

$$H'_{O^{st}} = H'_W = \lambda(1-D')H \cos \delta_{O^{st}W}$$

Следовательно, если на компасном курсе O^{st} или W довести равнодействующую силу поперечными магнитами-уничтожителями до величины $\lambda(1-D')H \cos \delta_{O^{st}W}$, то сила $C'\lambda H$ при этом будет компенсирована.

Величина $\lambda(1-D')H \cos \delta_{O^{st}W}$ рассчитывается как среднее значение $H'_{O^{st}}$ и H'_W .

Итак, для компенсации силы $C'\lambda H$ надо измерить дефлектором на курсах O^{st} и W силы $H'_{O^{st}}$ и H'_W . Затем, продолжая лежать на одном из этих курсов и не снимая дефлектора, переставить измерительный магнит дефлектора на средний отсчет H''_{CP} ; поперечными магнитами-уничтожителями подвести W картушки компаса под призму пеленгатора.

Работу по способу Колонга можно начинать с любой пары обратных курсов. Если крышка нактоуза расположена со стороны кормы, как это обычно бывает на судах, то работу на курсах N и S удобнее начинать с курса S , так как в этом случае доведение равнодействующей силы до среднего значения производится на курсе N и к девиационному прибору будет обеспечен свободный доступ.

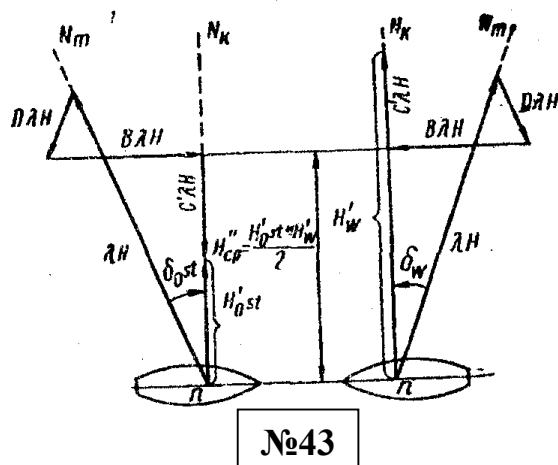
ПОРЯДОК РАБОТЫ СПОСОБОМ КОЛОНГА. Для уничтожения девиации способом Колонга необходимо выполнить следующее: 1. Лечь на компасный курс N и измерить дефлектором равнодействующую силу H'_N . 2. Лечь на компасный курс S и измерить дефлектором равнодействующую силу H'_S . 3. Продолжая лежать на курсе S и не снимая с компаса дефлектор, переставить его измерительный магнит на отсчет H'_{CP} и затем продольными магнитами-уничтожителями подвести под призму пеленгатора W картушки компаса. Сила $B'\lambda H$ компенсирована. 4. Лечь на компасный курс O^{st} и измерить дефлектором равнодействующую силу $H'_{O^{st}}$. 5. Лечь на компасный курс W и измерить дефлектором равнодействующую силу H'_W . 6. Продолжая лежать на курсе W и не снимая с компаса дефлектор, переставить его измерительный магнит на отсчет H''_{CP} и затем поперечными магнитами-уничтожителями подвести под призму пеленгатора W картушки компаса. Сила $C'\lambda H$ компенсирована.

ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О СПОСОБЕ КОЛОНГА. Способ Колонга получил широкое распространение в практике девиационных работ, так как он выполняется на компасных курсах и в процессе работы никакие ориентиры не нужны. В этом заключается существенное преимущество способа Колонга перед способом Эри.

Но способ Колонга обладает и недостатками. Этим способом нельзя уничтожать девиацию одновременно у нескольких компасов. Для выполнения работ этим способом необходимо иметь вспомогательный прибор – дефлектор.

По своей точности способ Колонга уступает способу Эри, что объясняется следующими причинами.

Теоретическое обоснование способа Колонга дано при условии равенства нулю коэффициентов A' и E' . Это условие в общем случае не выполняется, так как коэффициенты A' и E' обычно не равны нулю; поэтому при компенсации сил, $B'\lambda H$ и



$C'\lambda H$ способом Колонга допускается некоторая ошибка. Однако, как показывает анализ, эта ошибка практического значения почти не имеет вследствие малости коэффициентов A' и E' .

Основной причиной неточной компенсации сил $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ способом Колонга является индукция измерительного магнита дефлектора на мягкое железо, которое находится в нактоузе для уничтожения четвертной девиации. При измерении равнодействующих сил на противоположных курсах судна измерительный магнит дефлектора, находясь на разных расстояниях от мягкого железа компаса, индуцирует в нем неодинаковый магнетизм и поэтому неодинаково искажает измеряемые силы. Вследствие этого рассчитанные по данным измерений силы H'_{CP} и H''_{CP} отличаются от их действительных величин, и компенсация сил $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$ оказывается неточной.

Чем больше силы $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$, тем больше отличаются друг от друга равнодействующие силы на противоположных курсах и тем больше сказывается влияние индукции на точности уничтожения девиации.

Для уменьшения влияния индукции на точность уничтожения девиации надо предварительно уменьшить силы $B'\lambda H$ и $C'\lambda H$, т.е. подуничтожить девиацию. После чего измеренные на противоположных курсах равнодействующие силы будут по величине незначительно отличаться друг от друга, их искажение от индукции будет почти одинаковым и поэтому мало скажется на точности уничтожения девиации.

На точность способа Колонга оказывает влияние также и отклонение судна от курса в момент измерения сил. Поэтому при уничтожении девиации способом Колонга, так же как и при ее уничтожении любым другим способом, судно нужно точно удерживать на курсе.

При измерении сил пеленгатор рекомендуется устанавливать не по картушке компаса, а по азимутальному кругу. Напомним, что на курсах N , S , O^{st} и W пеленгатор нужно устанавливать соответственно на отсчеты 0, 180, 270 и 90° азимутального круга.

Ранее отмечалось, что при уничтожении полукруговой девиации способом Колонга работу можно начинать с любой пары курсов. Но если одновременно с полукруговой девиацией уничтожается и креновая, то работу надо начинать с курсов N и S , но не с O^{st} и W .

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УНИЧТОЖЕНИЯ ДЕВИАЦИИ ОТ СИЛЫ $D'\lambda H$

При изучении судовых магнитных сил и производимых ими девиаций было установлено, что четвертная девиация вызывается силами $D'\lambda H$ и $E'\lambda H$. Эти две силы различны по своим свойствам: сила $D'\lambda H$ у главных и путевых компасов транспортных судов обычно имеет значительную величину и вызывает девиацию, достигающую 5–6°, а иногда 8°; воздействие же силы $E'\lambda H$ на компас, установленный в диаметральной плоскости судна, как правило, очень мало, и девиация от этой силы выражается десятными долями градуса. Поэтому в подавляющем большинстве случаев у судовых компасов приходится уничтожать четвертную девиацию только от силы $D'\lambda H$, а девиацию от силы $E'\lambda H$ обычно достаточно определить и учесть в сумме с другими девиациями при исправлении курсов и пеленгов.

Для того чтобы уничтожить четвертную девиацию, необходимо компенсировать силу, которая эту девиацию вызывает, т.е. силу $D'\lambda H$. Известно, что сила $D'\lambda H$

возникает от мягкого в магнитном отношении судового железа. Следовательно, компенсировать ее нужно также мягким железом, располагая его определенным образом вблизи картушки компаса.

Математически условие уничтожения четвертной девиации от силы $D'\lambda H$ можно записать в следующем виде $-D_0 + D_1 = 0$, где D_0 – судовой коэффициент четвертной девиации от мягкого судового железа; D_1 – коэффициент четвертной девиации от компенсаторов, установленных в нактоузе.

Таким образом, для уничтожения четвертной девиации достаточно искусственным путем, с помощью мягкого железа, довести коэффициент D_1 до такой величины, с соответствующим знаком, чтобы алгебраическая сумма этого коэффициента с судовым коэффициентом D_0 была равна нулю. Иначе, условие уничтожения четвертной девиации, записывается так $-D_0 = -D_1$

Из теории и расчётов известно, что коэффициент девиации D_0 от мягкого судового железа имеет положительный знак. Этот вывод согласуется с данными наблюдений при выполнении на судах девиационных работ. Таким образом, если поставлена задача уничтожить четвертную девиацию от силы $D'\lambda H$, то необходимо создать искусственно четвертную девиацию с коэффициентом D_1 отрицательного знака. Этого можно достигнуть с помощью компенсаторов из мягкого железа трех видов: продольных брусков, поперечных брусков и шаров. Компенсаторы устанавливаются на верхнем основании нактоуза.

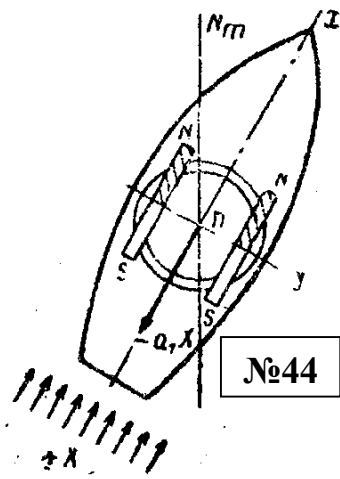
КОМПЕНСАТОРЫ В ВИДЕ ПРОДОЛЬНЫХ БРУСКОВ.

Если вблизи картушки установить два продольных бруска мягкого железа, расположив их симметрично относительно поперечной плоскости, проходящей через центр компаса, то эти бруски будут действовать на компас силой, подобной силе aX , входящей в уравнения Пуассона.

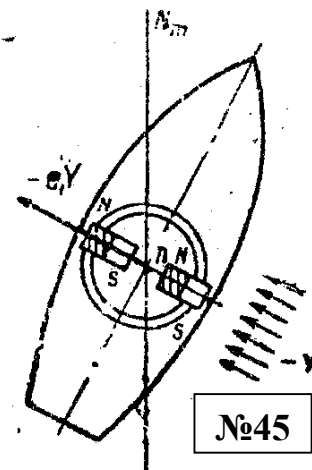
Действительно, как видно из рисунка 44, бруски будут намагничиваться составляющей X напряженности магнитного поля Земли и воздействовать на картушку продольной силой. Обозначим эту силу a_1X , где a_1 – искусственно созданный параметр, характеризующий магнитные свойства брусков и их расположение относительно ДП судна и центра компаса. Сила a_1X – на выбранном курсе направлена к корме судна. Анализируя знаки сомножителей a_1 и X , видим, что параметр a_1 имеет отрицательный знак. Подставим параметр a_1 , с его знаком в формулу коэффициента D_1 получим, что и коэффициент D_1 меньше нуля.

Итак, продольные бруски мягкого в магнитном отношении железа, установленные на нактоузе параллельно диаметральной плоскости судна, создают отрицательный коэффициент D_1 и, следовательно, с их помощью можно уничтожить четвертную девиацию от силы $D'\lambda H$.

Равенство абсолютных значений коэффициентов D_1 и D_0 при использовании продольных брусков обеспечивается путем изменения длины брусков. Можно также достичь нужного результата, изменяя расстояние между брусками и картушкой, но этот способ на компасах отечественного производства не применяется.



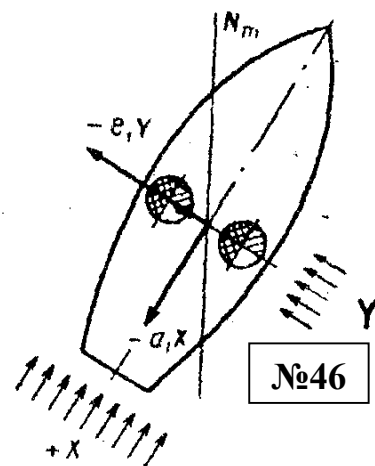
КОМПЕНСАТОРЫ В ВИДЕ ПОПЕРЕЧНЫХ БРУСКОВ. Рассмотрим два горизонтальных бруска мягкого железа, расположенных в поперечной плоскости компаса (рисунк 45). Эти бруски намагничиваются составляющей Y магнитного поля Земли и действуют на картушку поперечной силой eY . Обозначим силу, создаваемую брусками, через e_1Y , где e_1 – параметр поперечных компенсаторов.



Исследование знаков силы e_1Y и обоих ее сомножителей позволяет сделать вывод, что параметр e_1 сил от радиально расположенных поперечных брусков является положительным. Если бруски располагать их геометрическими осями строго вдоль судовой оси y и длина брусков значительно превосходит их ширину и толщину, то каких-либо сил с иными параметрами, кроме параметра e_1 такие бруски практически создавать не будут. При этом, как и в случае применения продольных компенсаторов, получаем коэффициент D_1 отрицательный. Это свидетельствует о том, что поперечные бруски мягкого железа вполне пригодны для компенсации силы $D'\lambda H$.

Для того чтобы при помощи поперечных брусков довести коэффициент D_1 до нужной величины, т.е. выполнить условие $D_0 = -D_1$ можно прибегнуть к изменению расстояния между брусками и картушкой компаса или подобрать требуемую длину брусков, или, наконец, проделать и то и другое вместе.

КОМПЕНСАТОРЫ В ВИДЕ ШАРОВ. Шары мягкого железа можно рассматривать как совокупность продольных и поперечных брусков (рисунк 46). Если шары расположены в поперечной плоскости компаса, то их действие на картушку выразится двумя уже известными силами a_1X и e_1Y . При этом параметр a_1 будет иметь отрицательный знак, а параметр e_1 , как и у поперечных компенсаторов, будет положительным. Подставив параметры с их знаками в формулу коэффициента D_1 получим, что компенсаторы в виде шаров мягкого железа создают отрицательный коэффициент D_1 и могут обеспечить уничтожение четвертной девиации от силы $D'\lambda H$. По абсолютной величине параметр e_1 у шара в два раза превосходит параметр a_1 . На этом основании формулу коэффициента D_1 в случае применения компенсатора в виде шара часто записывают так: $D_1 = -(3a_1)/(2\lambda_1)$.



Величину коэффициента D_1 , создаваемого шарами, можно менять, устанавливая на нактоуз шары большего или меньшего диаметра, а также изменяя расстояние между шарами и картушкой компаса.

ВЫБОР КОМПЕНСАТОРОВ. Нами рассмотрены три различных вида компенсаторов четвертной девиации. Для того чтобы решить, какие из этих компенсаторов являются наиболее приемлемыми для практических целей, надо сравнить такие их качества, как компактность, удобство в обращении, особенности расположения компенсаторов на компасе, простоту изготовления и т.д. Кроме того, выбор компенсаторов того или иного вида зависит также от назначения компаса и конструкции его нактоуза.

На магнитных компасах УКП-М отечественного производства, применяемых

на транспортных, промысловых и других судах, используются компенсаторы четвертной девиации в виде продольных брусков круглого сечения диаметром 22 мм.

Продольные компенсаторы компактны, они не увеличивают общих габаритов нактоуза, не мешают пеленгованию. Вместе с тем их использование связано с одним существенным неудобством. Оно заключается в том, что заводы-изготовители выпускают в комплекте компаса бруски только одной длины (300 мм). А так как изменение расстояния между продольными компенсаторами и картушкой конструкцией нактоуза не предусмотрено, то для доведения коэффициента D_I до требуемой величины приходится укорачивать бруски, отпиливая от них иногда по несколько раз лишнюю часть.

С помощью продольных компенсаторов отечественных компасов УКП-М можно уничтожать четвертную девиацию от силы $D'\lambda H$ в пределах от 1 до 6°.

Компенсаторы четвертной девиации в виде поперечных брусков прямоугольного сечения позволяют уничтожать четвертную девиацию примерно в тех же пределах, как и продольные компенсаторы, и столь же просты в изготовлении. Однако кронштейны с поперечными брусками увеличивают габариты нактоуза и создают неудобства для пеленгования предметов, находящихся на курсовых углах, близких к 90 и 270°.

Компенсаторы в виде шаров устанавливают на многих компасах иностранных марок. На отечественных же компасах шары применяются только в тех случаях, когда компенсаторы других видов не обеспечивают уничтожения четвертной девиации, т. е. когда эта девиация превышает 7°.

НЕОБХОДИМОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ ТАБЛИЦЫ ОСТАТОЧНОЙ ДЕВИАЦИИ

Ни один из применяемых на практике способов уничтожения девиации магнитного компаса не обеспечивает абсолютно полного ее устранения. Даже после очень тщательного уничтожения у компаса сохраняется остаточная девиация. Это объясняется несколькими причинами.

Одной из них являются ошибки, допускаемые при уничтожении девиации самим наблюдателем. Сюда относятся ошибки в подведении отсчетов картушки под призму при операциях с магнитами, ошибки в отсчете величин сил, измеряемых дефлектором, ошибки при взятии отсчетов по шкале инклинатора, погрешности вычислений и т.д. Другим источником ошибок в уничтожении девиации являются погрешности приборов. При большой начальной величине девиации компаса значительное влияние на точность ее уничтожения оказывает ошибка в курсе судна. Наконец, следует заметить, что при разработке некоторых способов уничтожения девиации с целью их упрощения принимают определенные допущения, от которых в известной степени зависит точность результатов уничтожения.

После тщательного уничтожения всех видов девиации опытным девиатором или штурманом ее остаточная величина обычно бывает около 1–2°. Такую девиацию нельзя считать пренебрежимо малой, ее необходимо учитывать при переводе и исправлении румбов.

Рабочим документом, пользуясь которым судоводитель производит перевод магнитных курсов и пеленгов в компасные и наоборот, является таблица остаточной

девиации, вычисляемая девиатором или штурманом. В ней приводятся значения девиации компаса для 24 или же 36 компасных курсов. Вычисление таблицы – такая же важная часть девиационных работ, как и уничтожение девиации.

Таблица девиации теплохода „Будапешт“, определенной 12 сентября 1983 г. на внешнем рейде

Компас главный У КП-М № 3127				Компас путевой У КП-М № 2479			
<i>КК</i>	<i>Девияция</i>	<i>КК</i>	<i>Девияция</i>	<i>КК</i>	<i>Девияция</i>	<i>КК</i>	<i>Девияция</i>
<i>N</i> 0°	–1°	<i>S</i> 180°	0°	<i>N</i> 0°	+0,6°	<i>S</i> 180°	–0,2°
15	–0,6	195	+0.2	15	–0.1	195	–0.8
30	–0,2	210	+0,3	30	–0,7	210	–1.2
<i>NO</i> 45	+0,2	<i>SW</i> 225	+0,4	<i>NO</i> 45	–1,1	<i>SW</i> 225	–1,3
60	+0,5	240	+0,4	60	–1,1	240	–1.2
75	+0,6	255	+0.3	75	–0 9	255	–0,7
<i>Ost</i> 90	+0,6	<i>W</i> 270	0	<i>Ost</i> 90	–0,4	<i>W</i> 270	0
105	+0,5	285	–0,4	105	+0,1	285	+0.7
120	+0,3	300	–0,8	120	+0.6	300	+ 1,3
<i>SO</i> 135	+0,1	<i>NW</i> 315	–1,1	<i>SO</i> 135	+0,8	<i>NW</i> 315	+1.6
150	–0,1	330	–1,2	150	+0,7	330	+ 1.6
165	–0,1	345	–1.2	165	+0,3	345	+1,2
<i>S</i> 180	0	<i>N</i> 360	–1,0	<i>S</i> 180	–0,2	<i>N</i> 360	+0,6
<i>Коэффициенты</i>							
<i>A</i> =–0,1 <i>D</i> =+0,4 <i>E</i> =–0,4 <i>H</i> =114 д.е.		<i>B</i> =+0,3 <i>C</i> =–0,5 <i>Z</i> =365 д.е.		<i>A</i> =0° <i>D</i> =–1,2 <i>E</i> =+0,2 <i>H</i> =117 д.е.		<i>B</i> =–0,2 <i>C</i> =+0,4 <i>Z</i> =374 д.е.	
<i>Магниты</i>							
Прод. N Попер. N Верт. N		в корму 2 в л/б 2 вверх 1		F 110 375 1,3	N в корму 2 N в л/б 2 N вверх 1		F 155 405 2,15
<i>Мягкое железо</i>							
Внутреннее Индукц. пласт. Наружное		2 прод. бруска 2 попер. нет		<i>l</i> =20 см <i>l</i> =12 см	2 прод. бруска 2 попер. нет		<i>l</i> =30 см <i>l</i> =13 см

Более того, если ошибка в уничтожении девиации скажется лишь в том, что остаточная девиация будет иметь несколько большую величину, чем обычно, например, вместо 1° она достигнет 3°, то ошибка в составлении таблицы может повлечь за собой очень серьезные последствия вплоть до аварии судна.

Таблицу остаточной девиации вычисляют заново каждый раз после уничтожения девиации, даже если уничтожались не все виды девиации, а только одна какая-либо из них, например, полукруговая, четвертная и т.д. Кроме того, таблицу приходится иногда вычислять или исправлять в море, когда поправки компаса, определенные по наблюдениям, показывают, что девиация по каким-либо причинам изменилась, и, следовательно, прежней таблицей пользоваться уже нельзя.

Казалось бы, что для составления таблицы остаточной девиации достаточно

записать в соответствующие ее графы результаты наблюдений девиации, выполненных одним из навигационных или астрономических способов на 24 или 36 компасных курсах. Однако такой способ составления таблицы на практике не применяется, так как для определения девиации на столь большом числе курсов потребовалось бы очень много времени, особенно при работе на крупнотоннажных судах. Помимо этого, нужно учесть, что все ошибки, допущенные наблюдателем при пеленговании створов или небесных светил, а также ошибки вычислений целиком войдут в такую таблицу. Поэтому таблица остаточной девиации не составляется, а вычисляется. Применяемый на практике метод вычисления таблицы состоит из трех этапов: 1) определяют девиацию на восьми главных и четвертных компасных курсах; 2) по полученным девиациям вычисляют коэффициенты девиации A , B , C , D , E ; 3) по известным коэффициентам вычисляют таблицу девиации для 24 или 36 компасных курсов.

Указанный метод обладает существенными достоинствами: во-первых, для работы этим методом нужно сравнительно немного времени (1–1,5 ч требуется для определения девиации на восьми курсах и еще 10–20 мин для вычислений и заполнения таблицы девиации); во-вторых, при вычислении коэффициентов A , B , C , D , E благодаря применению особого математического приема обработки наблюдений значительно уменьшается влияние на результаты вычислений случайных ошибок, допущенных при пеленговании, т.е. ошибок в определении девиации.