

НОВОРОССИЙСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МОРСКАЯ
АКАДЕМИЯ

СУДОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

А. И. Студеникин

УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ МАГНИТНЫХ КОМПАСОВ

*Учебное пособие для судоводительской
специальности морских академий*



Новороссийск
2001

УДК 629.12.053

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент НГМА *A.B. Миронов*

Рекомендовано Редакционно-издательским советом НГМА в качестве
учебного пособия.

Студеникин А.И.

Устройство и эксплуатация магнитных компасов: Учебное пособие. – Новороссийск: НГМА, 2001. - 148 с.

Рассматривается устройство магнитных компасов, используемых для решения навигационных задач на судах морского флота, анализируются основные источники и пути снижения их погрешностей, приводятся типовые требования к эксплуатации и техническому обслуживанию.

Достаточно подробно изложены вопросы уничтожения девиации компасов и ее автоматизированного учета.

Пособие предназначено для курсантов судоводительской специальности морских академий и может быть полезно специалистам, связанным с эксплуатацией названных систем.

УДК 629.12.053

© НГМА, 2001
© Студеникин А.И., 2001

ВВЕДЕНИЕ

Магнитный компас (МК) является одним из наиболее древних приборов, который успешно помогал судоводителям решать их профессиональные задачи в течение многих столетий. Его по праву можно отнести к категории самых надежных изделий, используемых на морских судах. Однако развитие альтернативных, более точных методов определения курса судна несколько снизили его значимость. Тем не менее, указанное обстоятельство не дает сколько-нибудь веских оснований предполагать, что используемые им методы определения курса судна безнадежно устарели и в ближайшее время компас будет снят с эксплуатации.

В канун наступающего столетия Международная морская организация (ИМО) подготовила новые правила, направленные на повышения безопасности судоходства. 24 сентября 1999 г. на 45 сессии Подкомитета ИМО по безопасности мореплавания завершилась работа по подготовке в значительной степени пересмотренной Главы 5 Конвенции СОЛАС-74. Новым в этой главе является Правило 15, в котором изложены принципы, связанные с конструкцией мостика и порядком его оснащения навигационными системами и оборудованием. В соответствии с этими правилами магнитный компас по-прежнему остается в составе оборудования в качестве резервного курсоуказателя, позволяющего осуществлять контроль за качеством работы гирокомпаса и решать навигационные задачи при выходе гирокомпаса из строя.

Как и все другие приборы магнитные компасы постоянно совершенствуются. Разрабатываются новые их модели, улучшается конст-

руктивное оформление основных элементов компаса, внедряются новые способы получения, обработки и отображения информации, развивается и уточняется теория девиации МК, отрабатываются способы автоматической коррекции ошибок компаса.

Все это должно находить отражение в учебно-методической литературе, с тем, чтобы специалисты, выпускаемые морскими учебными заведениями, а также штурманский состав имели бы возможность получить достаточные сведения для грамотной эксплуатации приборов рассматриваемого типа. К сожалению, в последнее время наметился определенный дефицит с учебно – методической литературой, что существенно усложняет процесс подготовки грамотных специалистов.

Данное учебное пособие имеет своей целью в определенной степени ликвидировать этот пробел. В пособии рассматриваются все основные вопросы, предусмотренные программой подготовки судоводителей. Книга включает в себя 6 глав, введение, заключение и приложения.

В первой главе дана общая характеристика магнитных компасов и их классификация. Вторая и третья главы посвящены описанию магнитных компасов с картушкой (стрелочных МК) и индукционных компасов, соответственно. Четвертая и пятая главы посвящены изложению основ теории девиации и способов снижения влияния судового железа на показания компасов. В шестой главе излагаются вопросы, связанные с эксплуатацией МК.

Глава 1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАГНИТНЫХ КОМПАСОВ

1.1. Краткая историческая справка

Свойство магнитного стержня, подвешенного на нити, ориентироваться в направлении Север-Юг было известно в Китае за 2,5 тысячи лет до новой эры. Имеются сведения, что впервые магнитный компас был применен на судне в 250 году новой эры. В Европе он стал применяться начиная с XI века новой эры и успешно использовался в простейшем виде до второй половины XIX столетия. В основе МК лежала подвижная магнитная система, снабженная шкалой, которая, располагаясь в плоскости горизонта, самоустанавливалась таким образом, что нулевой ее отсчет был обращен в сторону северного магнитного полюса Земли. В последствии эту подвижную систему стали называть *картушкой*.

Появление судов с механическими двигателями и металлическими элементами конструкции, перевозка ферромагнитных грузов существенно усложнили эксплуатацию МК и потребовали принятия мер для снижения их ошибок, обусловленных влиянием судовых магнитных полей. В результате этого была успешно разработана теория девиации МК, описывающая закон изменения указанных ошибок и определяющая пути повышения точности работы компаса. В основу этой теории легли уравнения французского ученого Пуассона для магнитного поля, создаваемого однородно намагниченным телом, которые были опубликованы в 1824 году. Большой вклад в разработку указанной теории внесли наши соотечественники А.Н. Крылов, Н.Н. Оглобленский, П.А. Домогаров, И.П. Колонг и многие другие. Их усилиями отечественная школа девиаторов заняла самое передовое место в мире.

Наряду с разработкой теории девиации и внедрением ее совершенствовался и сам компас. Так [4], в 1905 году Н.Н. Оглобленский разработал первый отечественный **жидкостный** стрелочный компас с диаметром картушки, равным 5 дюймам, а в 1938 году В.Я. Павлинов с участием В.В. Каврайского создал первый дистанционный компас с оптической системой передачи показаний.

Успешная разработка теории девиации МК позволила сохранить его в качестве курсоуказателя до настоящего времени. Однако для обеспечения высокой точности работы прибора необходимо систематически контролировать его ошибки и при необходимости корректировать их. Для этого требуется знание параметров как земного, так и судового магнитных полей.

1.2. Общая характеристика земного магнитного поля

Земное магнитное поле может быть приближённо представлено как поле некоторого постоянного магнита I (рис. 1.1), полюса которого расположены вблизи полюсов Земли.* Плоскости 2, образованные магнитными силовыми линиями, являются плоскостями магнитных меридианов, а касательные к магнитным силовым линиям определяют направление векторов T напряжённости магнитного поля Земли.

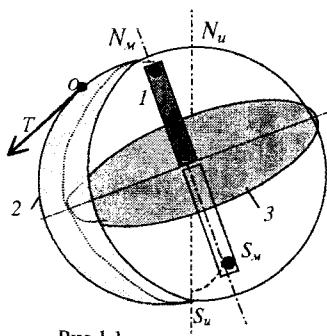


Рис. 1.1

Плоскость 3 магнитного экватора перпендикулярна оси, соединяющей между собой северный N_m и южный S_m магнитные полюсы*. Очевидно, что из-за несовпадения географических полюсов N_u и S_u с магнитными полюсами Земли, плоскости географических меридианов и экватора также не будут совпадать с плоскостями магнитных меридианов и экватора. Угол d , определяющий отклонение в плоскости горизонта магнитного меридиана относительно истинного (рис. 1.2), называется магнитным склонением и может изменяться в пределах $\pm 180^\circ$.

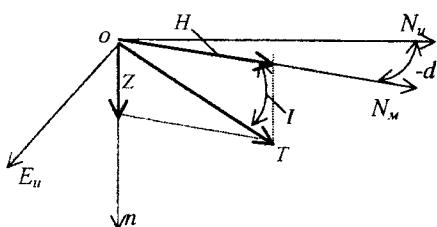


Рис. 1.2

* Примерные координаты N_u составляют: $\phi = 72^\circ \text{ N}$, $\lambda = 96^\circ \text{ W}$, а координаты S_u – $\phi = 700 \text{ S}$, $\lambda = 150^\circ \text{ E}$.

* Более строго за магнитный экватор принимают линию, в каждой точке которой значение магнитного наклонения (см. ниже) равно нулю.

1.2. Общая характеристика земного магнитного поля

Вектор T напряжённости магнитного поля Земли лежит в плоскости магнитного меридиана и составляет с плоскостью горизонта некоторый угол I . Этот угол называется *магнитным наклонением* и может изменяться в пределах $\pm 90^\circ$.

Наряду с указанным, рассматривают проекции H и Z вектора T на плоскость горизонта и на местную вертикаль, соответственно. Эти составляющие определяются следующими равенствами:

$$H = T \cos I; \quad Z = T \sin I. \quad (1.1)$$

На навигационных картах могут наноситься линии равных значений указанных параметров. *Изогонами* называют линии равных значений магнитного склонения. Линии равных значений магнитного наклонения получили название *изоклин*. Линии равных значений H и Z называются *изодинамами*.

Земное магнитное поле претерпевает медленное годовое изменение, а также достаточно быстрые вариации, обусловленные, например, активизацией процессов на Солнце. Кроме того, на равномерность магнитного поля Земли существенное влияние оказывают местные магнитные аномалии.

1.3. Классификация магнитных компасов

Наряду с развитием теории девиации совершенствовался и сам прибор. Были разработаны МК для различного типа судов, которые отличались друг от друга типом чувствительного элемента, точностными характеристиками, компенсаторами его девиации и устройствами отображения информации. Исторически сложилось так, что на морском флоте преимущественное распространение получили МК с *подвижным чувствительным элементом (картушкой)*, которые нередко называют стрелочными компасами. Их несомненным достоинством является то, что наличие картушки, самостоятельно устанавливающейся в меридиан, позволяет снимать значение курса судна непосредственно с ее шкалы, что обеспечивает возможность ориентации даже при отсутствии электропитания. Относительная простота конструкции такого МК обеспечивают высокую надежность курсоуказания.

В последнее время на судах стали применять *индукционные МК*, которые

не имеют картушки. Вместо нее используются специальные датчики для получения информации о курсе судна, определенным образом сориентированные относительно диаметральной плоскости и неподвижны относительно нее. Эти компасы являются дистанционными, имеют меньшие габариты чувствительного элемента, допускают большую свободу в выборе места их установки. Однако, они требуют электропитания и наличия специальных указателей курса, которые называются *репитерами*.

Современные магнитные компасы с картушкой, предназначенные для использования на судах дальнего плавания, также снабжаются устройствами для дистанционной передачи информации. Эти устройства могут быть *оптическими*, *электромеханическими* или *электронными (цифровыми)*. Информация о курсе, поступающая от них, может отображаться как в аналоговом, так и в цифровом виде и, как правило, на нескольких указателях курса (репитерах).

Различают *главные* и *путевые* МК. Главный магнитный компас устанавливается на верхнем мостике в диаметральной плоскости судна или, как исключение, вблизи её и может использоваться для пеленгования различных ориентиров. Информация с главного МК может сниматься непосредственно с его картушки или, при наличии системы дистанционной передачи информации, в ходовой рубке. Если главный компас не имеет дистанционной передачи, то в ходовой рубке устанавливается путевой МК.

При размещении на судне МК любого типа необходимо обеспечить легкий доступ к их информации, минимальное влияние на их работу качки судна и судового магнитного поля, позаботиться о строгой ориентации корпуса МК относительно диаметральной плоскости.

На рис. 1.3. в графическом виде приведена классификация МК. Здесь под смешанными дистанционными передачами понимаются такие, в которых обеспечивается выработка как цифровых так и аналоговых сигналов о курсе судна. Под цифроаналоговыми репитерами понимаются репитеры, отображающие информацию как в аналоговом виде, так и в цифровом.

1.3. Классификация магнитных компасов

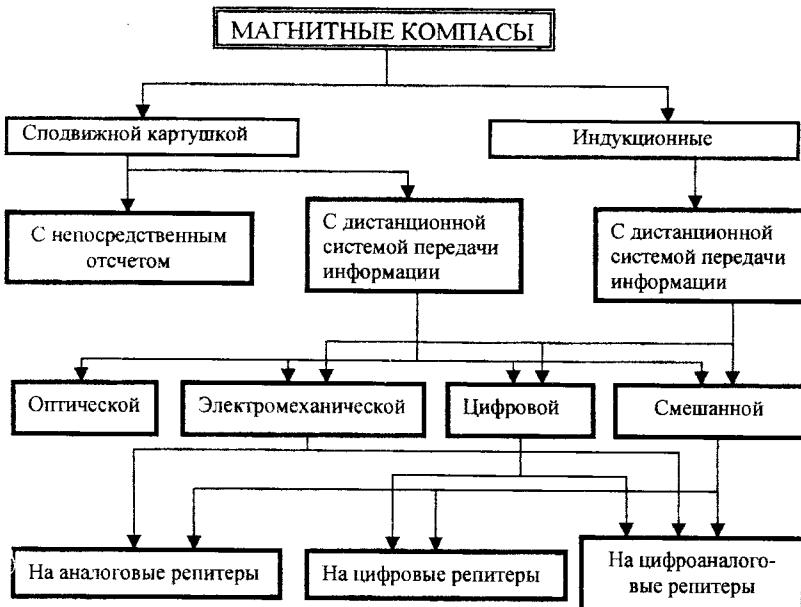


Рис. 1.3.



- 1.1. В каком городе Санкт-Петербурге или Новороссийске больше наклонение магнитного поля Земли и почему?
- 1.2. Почему в высоких широтах ухудшаются показания магнитных компасов?
- 1.3. Мы находимся на изогоне, помеченной цифрой $+30^{\circ}$. О чем это говорит?
- 1.4. Мы находимся на изоклине, соответствующей 60° . Чему в этой точке равна напряженность H горизонтальной составляющей магнитного поля Земли (в долях от общего вектора T) ?
- 1.5. Где показания компаса будут более точными: на изоклине, соответствующей 60° или 30° ?

Глава 2

МАГНИТНЫЕ КОМПАСЫ С КАРТУШКОЙ

2.1. Состав комплекта магнитного компаса

Как уже отмечалось выше, магнитные компасы с картушкой в настоящее время наиболее широко распространены на флоте. Основным элементом такого компаса является котелок 1 (рис. 2.1), в котором собрана его измерительная

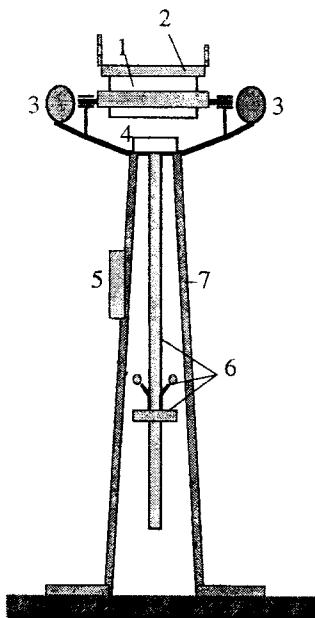


Рис. 2.1

система. Для определения пеленгов и курсовых углов на котелке компаса устанавливается гироскоп 2. Сам котелок размещается в специальной подставке (нактоузе) 7, в которой также размещаются устройства 6 для компенсации девиации МК, обусловленной влиянием судового магнитного поля. С внешней стороны нактоуза устанавливаются компенсаторы 3 девиации магнитного компаса, порождаемой полем, создаваемым судовыми магнитомягкими материалами, а также коробка 5, содержащая тумблер включения подсветки прибора и регулятор её яркости. Непосредственно под котелком устанавливаются компенсаторы 4 девиации от индукции.

Наряду с указанным,

на нактоузе могут устанавливаться компенсаторы широтной девиации и элементы систем дистанционной передачи информации.

На рис. 2.2 в качестве примера приведен внешний вид нактоуза дистанционного МК “Сектор”, на котором видны упомянутые выше компенсаторы 3, регулятор яркости полсветки 5 и колпак 1, которым накрывается котелок для защиты его от непогоды. Откидывающиеся крышки 2 позволяют производить

2.1. Состав комплекта магнитного компаса

измерения без удаления колпака.

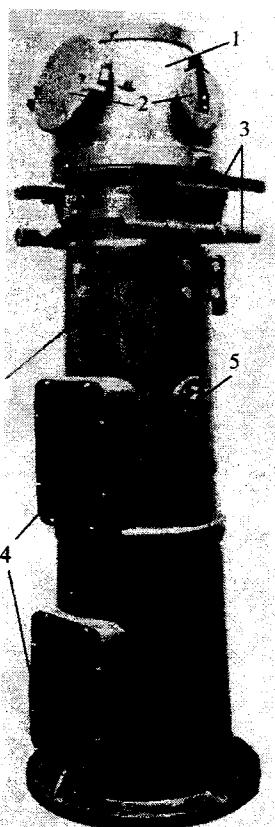


Рис. 2.2

Съемные крышки 4 закрывают окна, обеспечивающие доступ к элементам, установленным внутри нактоуза.

В шлюпочном или яхтенном варианте котелок снабжается осветительными устройствами, рассчитанными на работу при отсутствии бортовой сети питания. Такими устройствами могут быть масляные фонари и осветители, потребляющие постоянный ток от сухих элементов или аккумуляторов. Указанные компасы используют-



Рис. 2.3

ся, как правило, без нактоуза. В

качестве примера на рис. 2.3 приведены фотографии магнитного компас – указателя крена “Галс”, который устанавливается на горизонтальном относительно судна основании и наряду с курсом позволяет измерять его крен в диапазоне $\pm 45^{\circ}$. Диаметр шкалы такого компаса составляет 48 мм, а его вес – 470 грамм.

2.2. Устройство котелка магнитного компаса

Устройство котелка магнитного компаса, в своей основе, является типовым и может быть представлено упрощенной конструктивной схемой,

показанной на рис. 2.4. Отличительные особенности конкретных моделей МК определяются наличием или отсутствием встроенных элементов систем дистанционной передачи информации, а также геометрическими особенностями картушки и других элементов котелка.

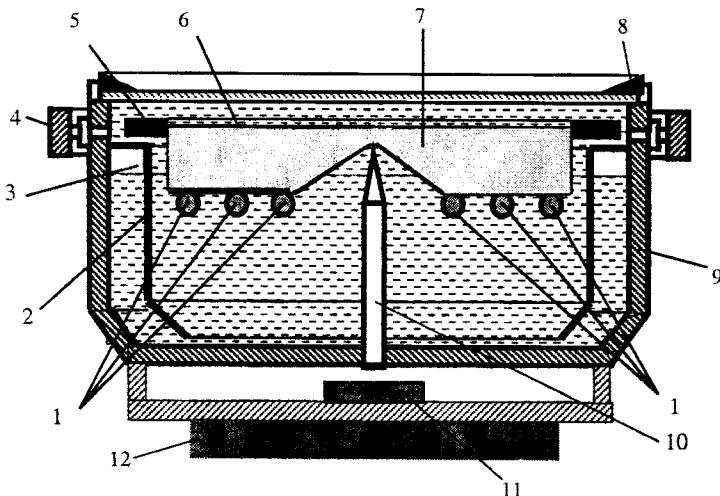


Рис.2.4

Картушка компаса 6 может иметь 2,4, или 6 постоянных, жестко с нею связанных, стержневых магнитов 1, оси которых параллельны, а размеры по-парно одинаковы.

Имеются компасы, в которых вместо стержневых магнитов используется один кольцевой. Это позволяет улучшить динамику картушки МК и снизить уровень девиации высших порядков.

Устанавливается картушка на шпильку 10 таким образом, чтобы точка опоры находилась выше её центра масс, что делает подвес устойчивым при наличии внешних возмущающих воздействий, порождаемых, например, качкой судна*. Для снижения давления картушки на опорную шпильку она снабжается поплавком 7. На верхней плоскости картушки размещается курсовая шкала 5.

В котелок 9, куда помещена картушка, заливается морозостойкая жид-

* В отдельных МК, например, КМ-145 используется обращенная схема подвеса, в которой шпилька связана с картушкой, а топка, в которую она упирается, - с котелком.

2.2. Устройство котелка магнитного компаса

кость. Эта жидкость должна полностью заполнять его объём. Однако в силу различных причин под стеклом котелка могут образовываться воздушные пузырьки, мешающие снимать информацию с компаса. Для удаления этих пузырьков по периметру котелка установлена перегородка 2, выделяющая некоторый объём 3, заполненный воздухом, в который и перемещаются пузырьки при покачивании котелка компаса. Эта же полость используется для компенсации изменения объема жидкости при изменении ее температуры.

Котелок компаса устанавливается с помощью подшипников в кольце подвеса 4, которое так же с помощью подшипников монтируется в нактоузе МК. В результате образуется карданов подвес. К нижней части котелка крепится груз 12, благодаря чему его центр масс смещается вниз относительно оси подвеса, обеспечивая, тем самым, его повышенную устойчивость при наличии качки судна. Здесь же устанавливается индукционный датчик, измеряющий углы поворота картушки, если МК имеет систему дистанционной передачи информации. В верхней части котелка имеется азимутальная шкала 8, с помощью которой измеряются курсовые углы ориентиров.

Верхняя часть нактоуза может поворачиваться относительно его нижней части вместе с котелком. Кроме того, сам котелок можно разворачивать отно-

сительно верхней части нактоуза.

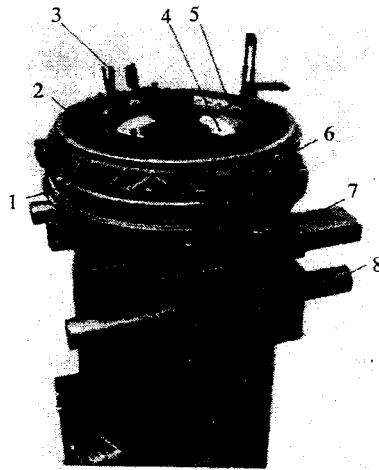


Рис. 2.5

В качестве примера на рис. 2.5 показана верхняя часть нактоуза МК "Сектор". Здесь, котелок 1 совместно с кардановым подвесом установлен в нактоузе 2 с помощью пружин 6, предохраняющих его от влияния вибрации и ударов. Котелок снабжен пленгатором 3. С помощью шкал 4 и 5 измеряются курс судна и курсовые углы ориентиров, соответственно. Как уже было указано выше, бруски 7

и 8 используются для компенсации девиации МК.

Рассмотренный вариант устройства котелка МК является типовым. Однако наряду с ним применяются и другие конструктивные варианты. Так, с целью снижения влияния качки судна на работу компаса в ряде изделий, например, в компасе КМ-145 (рис. 2.6), поплавок 1 снабжается дополнительным кожухом 2, сообщающимся с рабочей камерой котелка, в результате чего он оказывается

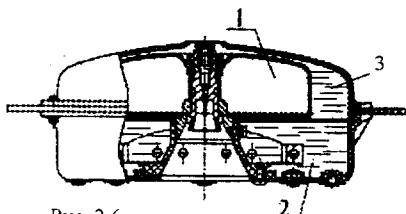


Рис. 2.6

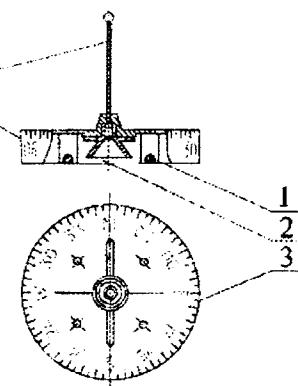
заполненным поддерживающей жидкостью 3. Наличие указанного кожуха приводит к увеличению периода собственных колебаний подвижной системы компаса, что положительно сказывается на его работе.

В упомянутых ранее компасах “Галс” (рис. 2.7) для маломерных судов картушка 2, включающая в себя два магнита 1, не имеет поплавка. Шкалы с цепной деления 5^0 нанесены на ее внешней горизонтальной 3 и боковой цилиндрической 4 поверхностях. Элементы опорного устройства, входящие в состав картушки, включают в себя корундовый подпятник и коническую деталь, предохраняющую ее от боковых перемещений.

В корпус картушки вставлен упор-указатель 5, с шариком на свободном конце, служащий для предотвращения ее вертикального перемещения и одновременно выполняющий роль указателя крена и дифферента судна. Последнее возможно потому, что картушка обладает свойствами физического маятника.

Рис. 2.7

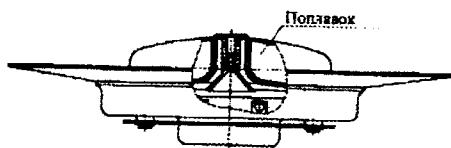
Магнитный компас КМС 160 (компас магнитный сферический) [4] предназначен для установки на стол пульта в ходовой рубке судна. Магнитная система картушки (рис. 2.8) содержит 4 стержневых магнита диаметром 3 мм,



свойствами физического маятника.

Магнитный компас КМС 160 (компас магнитный сферический) [4] предназначен для установки на стол пульта в ходовой рубке судна. Магнитная система картушки (рис. 2.8) содержит 4 стержневых магнита диаметром 3 мм,

2.2. Устройство котелка магнитного компаса



деления – 1° . Остаточный вес картушки в жидкости ПМС-5 составляет 0,035 Н.

Картушка устанавливается на шпильке (рис. 2.9), которая ввинчивается во внутреннюю рамку 1 карданова подвеса. Опоры наружного кольца 3 карданова подвеса устанавливаются в корпусе 4 котелка компаса. Груз 5 обеспечивает

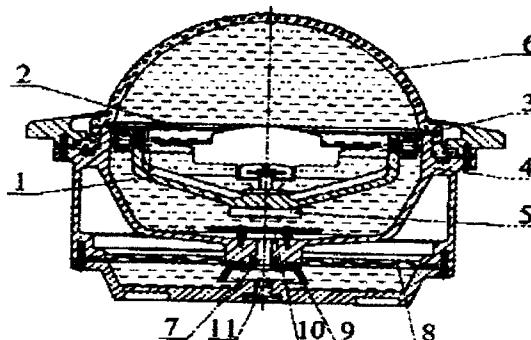


Рис. 2.9

выполненных из сплава 52

КФТМ. Два средних магнита имеют длину 75 мм, а два крайних – 55 мм. Диаметр шкалы картушки составляет 125 мм, ее цена

вертикальность оси шпильки в процессе качки судна.

Рабочая камера котелка закрыта сверху полусферической прозрачной крышкой 6 и полностью заполнена жидкостью ПМС-5.

Вследствие этого возникает увеличение изображения шкалы и ее видимый диаметр возрастает до 160 мм.

В нижней стенке корпуса имеется отверстие 7, соединяющее рабочую камеру с компенсационной камерой. В компенсационной камере воздушный объем отделен от жидкости эластичной диафрагмой 8. Колебания жидкости, вызванные механическими воздействиями на компас, гасятся чашкой 9 и экраном 10. В центре дна котелка имеется отверстие, закрытое пробкой 11, для заполнения котелка жидкостью. Ко дну котелка может крепиться девиационный прибор.

Качество работы МК существенно зависит от его динамических характеристик, которые определяются параметрами собственного и вынужденного движений его картушки. Рассмотрим основные из этих параметров.

2.3. Собственное движение картушки магнитного компаса

Собственное движение картушки магнитного компаса представляет собой процесс её установления в меридиан, если она в силу каких-либо причин отклонилась от него на некоторый угол α (рис. 2.10). Это движение получило название *переходного процесса*. Оно определяет закон изменения угла a во времени, и тем самым дает возможность оценить ошибки, которые приобретает

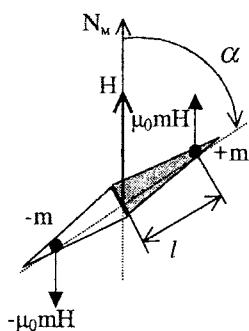


Рис. 2.10

прибор в течение переходного процесса и после его окончания. Параметры переходного процесса существенно зависят от особенностей устройства картушки компаса и в частности от того имеет ли она или не имеет дополнительный кожух, заполненный поддерживающей жидкостью. Наличие указанного кожуха несколько усложняет исследование переходного процесса. Поэтому вначале рассмотрим движение картушки компаса в случае, если названный кожух отсутствует.

2.3.1. Компас не имеет дополнительного кожуха

При отклонении картушки магнитного компаса от направления меридиана магнитное поле Земли обусловит появление восстанавливающего момента M_1 . Как известно [4], значение этого момента зависит от угла α , магнитного момента $M = 2ml$ картушки, напряжённости H магнитного поля Земли и абсолютной магнитной проницаемости среды μ_0 :

$$M_1 = 2\mu_0 mlH \sin \alpha = \mu_0 MH \sin \alpha \approx \mu_0 MH\alpha. \quad (2.1)$$

В выражении (2.1) принято, что углы отклонения картушки не велики и допустима замена функции $\sin \alpha$ её аргументом α .

Под действием момента M_1 картушка начнёт поворачиваться с некоторой угловой скоростью $\dot{\alpha}$ и ускорением $\ddot{\alpha}$. При этом возникнут моменты сил сопротивления вращению картушки, в числе которых будут:

2.3. Собственное движение картушки магнитного компаса

- момент $M_2 = M_m \operatorname{sign} \dot{\alpha}$ сил сухого трения с амплитудным значением M_m^* ;
- момент $M_3 = \kappa_\delta \dot{\alpha}$ сил демпфирования, возникающий за счёт трения картушки о жидкость, заполняющую котёлком компаса (здесь κ_δ – коэффициент демпфирования);
- момент $M_4 = I\ddot{\alpha}$ сил инерции (здесь I – момент инерции картушки относительно оси её вращения);
- прочие моменты $M(t)$ внешних сил.

В соответствии с принципом Даламбера сумма всех моментов, действующих на вращающееся тело, в любой момент времени равна нулю. Использование этого принципа в рассматриваемом случае позволит записать уравнение движения картушки магнитного компаса в следующем виде:

$$I\ddot{\alpha} + \kappa_\delta \dot{\alpha} + \mu_0 M H \alpha = -M_m \operatorname{sign} \dot{\alpha} + M(t). \quad (2.2)$$

В нашей задаче момент $M(t)$ будем считать равным нулю. Тогда поделив все члены уравнения (2.2) на коэффициент при первом слагаемом и приняв следующие обозначения:

$$\frac{\kappa_\delta}{I} = 2h, \quad \frac{\mu_0 M H}{I} = \omega_0^2, \quad (2.3)$$

найдём:

$$\ddot{\alpha} + 2h\dot{\alpha} + \omega_0^2 \alpha = -\frac{M_m}{I} \operatorname{sign} \dot{\alpha}. \quad (2.4)$$

Мы получили неоднородное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами. Решение этого уравнения будем представлять в виде суммы общего решения α_0 однородного уравнения, полученного из (2.4) путём приравнивания нулю его правой части, и частного решения α_c неоднородного уравнения:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_c. \quad (2.5)$$

Однородное уравнение принимает вид:

$$\ddot{\alpha}_0 + 2h\dot{\alpha}_0 + \omega_0^2 \alpha_0 = 0. \quad (2.6)$$

* Релейная функция $\operatorname{sign} \dot{\alpha}$ равна +1 при $\dot{\alpha} > 0$, -1 при $\dot{\alpha} < 0$ и не определена при $\dot{\alpha} = 0$.

Ему соответствует следующее характеристическое уравнение:

$$r^2 + 2hr + \omega_0^2 = 0, \quad (2.7)$$

имеющее два корня r_1 и r_2 , которые определяются известным выражением:

$$r_{1,2} = -h \pm \sqrt{h^2 - \omega_0^2} = -h \pm iq, \quad (2.8)$$

где $q = \sqrt{\omega_0^2 - h^2}$.

На практике параметры картушки и степень демпфирования её движения подбираются таким образом, чтобы выполнялось неравенство $h < \omega_0$ и корни характеристического уравнения были бы комплексными. Такой выбор обеспечивает лучшие характеристики переходного процесса. В указанных условиях закон изменения угла α_0 примет вид:

$$\alpha_0 = (C_1 \cos qt + C_2 \sin qt) e^{-ht}, \quad (2.9)$$

где C_1 и C_2 – произвольные постоянные, определяемые начальными условиями. Если считать, что в начальный момент времени картушка компаса была отклонена от меридиана на угол α_n , и не вращалась, то произвольные постоянные будут равны:

$$C_1 = \alpha_n, \quad C_2 = -\frac{h\alpha_n}{q}, \quad (2.10)$$

а искомое общее решение примет вид:

$$\alpha_0 = (\alpha_n \cos qt - \frac{h\alpha_n}{q} \sin qt) e^{-ht}. \quad (2.11)$$

Полученное решение можно упростить и сделать более наглядным, если ввести следующие замены:

$$\alpha_n = A \cdot \cos \psi, \quad \frac{h\alpha_n}{q} = A \sin \psi. \quad (2.12)$$

Такое представление всегда возможно, т.к. значения A и ψ определены при любых значениях α_n, h и q . Действительно, если возвести оба равенства (2.12) в квадрат и затем их сложить, то найдём выражение, определяющее параметр A :

$$A = \sqrt{\alpha_n^2 + \frac{h^2 \alpha_n^2}{q^2}}. \quad (2.13)$$

2.3. Собственное движение картушки магнитного компаса

В свою очередь, если второе равенство (2.12) разделить на первое, получим:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{h}{q}. \quad (2.14)$$

С учётом принятых обозначений общее решение можно представить в виде:

$$\alpha_0 = A e^{-ht} \cos(qt + \psi). \quad (2.15)$$

Частное решение неоднородного уравнения (2.4) будем искать принимая во внимание, что при неизменном направлении вращения картушки компаса момент сил сухого трения остаётся постоянным и равным M_m . Это позволяет считать в установившемся режиме $\ddot{\alpha}_u = \dot{\alpha}_u = 0$. Тогда уравнение (2.4) примет вид:

$$\omega_0^2 \alpha_u = -\frac{M_m}{I}, \quad (2.16)$$

откуда находим:

$$\alpha_u = -\frac{M_m}{\mu_0 H M}. \quad (2.17)$$

Общее решение исходного неоднородного уравнения с учётом полученных выражений (2.15) и (2.17) примет вид:

$$\alpha = A \cos(qt + \psi) e^{-ht} - \frac{M_m}{\mu_0 H M}. \quad (2.18)$$

Из полученного выражения видно, что процесс установления картушки в меридиан носит колебательный характер с амплитудой, затухающей во времени по экспоненциальному закону (рис. 2.11).

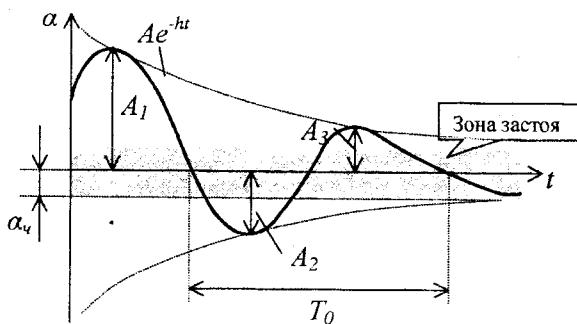


Рис. 2.11

С уменьшением амплитуды колебаний уменьшается значение восстанавливающего момента M_r . Когда этот момент становится равным моменту сил сухого трения движение картушки прекращается. При этом, максимальное её отклонение от меридиана будет определяться значением α_s . Угол отклонения картушки компаса в конце переходного процесса называется углом *застоя* картушки, а диапазон возможных его значений – зоной застоя. Как следует из вы-



ражения (2.17), величина зоны застоя зависит от величины момента сил трения в опорах подвеса картушки, магнитного момента картушки и величины **горизонтальной составляющей** магнитного поля Земли. С целью снижения зоны застоя следуем уменьшать момент сил трения* и увеличивать собственный магнитный момент картушки.

Сам переходный процесс характеризуется его длительностью, периодом T_0 затухающих колебаний картушки и фактором f затухания или декрементом затухания h . Длительность переходного процесса измеряется от его начала до момента остановки картушки в зоне застоя. Фактор затухания определяется отношением соседних амплитуд колебаний:

$$f = \frac{A_1}{A_2} = \frac{A_2}{A_3} \dots \quad (2.19)$$

Если учесть, что ближайшие амплитуды связаны между собой следующим равенством:

$$A_2 = A_1 e^{-\frac{hT}{2}}, \quad (2.20)$$

то нетрудно найти связь между фактором затухания и декрементом затухания:

$$f = e^{0.5hT_0}, \quad h = \frac{2 \ln f}{T_0}. \quad (2.21)$$

Все перечисленные параметры характеризуют качество работы магнитного компаса и, как правило, их количественные значения приводятся в эксплуатационной документации.

* Обычно это достигают за счёт снижения радиуса трения в опоре и уменьшения остаточного веса картушки.

2.3. Собственное движение картушки магнитного компаса

Решим



Задача 2.1. Определить величину зоны застоя картушки магнитного компаса, имеющей магнитный момент $M = 2 \text{ A m}^2$, если напряженность H' судового магнитного поля составляет 12 A/m , момент M_m сил сухого трения равен $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ Н м}$, а магнитная проницаемость среды $\mu = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Н/A}^2$.

Решение: В зоне застоя картушки МК имеет место неравенство (2.17):

$$\alpha_u \leq \frac{M_m}{\mu M H'} \leq \frac{1,5 \cdot 10^{-7}}{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 12} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ rad} = 0,28^\circ.$$

Задача 2.2. Определить длительность t_n переходного процесса, если известно, что период затухающих колебаний картушки $T_0 = 22 \text{ с}$, фактор затухания $f = 2,7$, начальное отклонение картушки от меридиана $A_u = 30^\circ$, а угол ее застоя $\sigma = 0,3^\circ$.

Решение: Длительность переходного процесса определяется промежутком времени, которое необходимо для того, чтобы начальная амплитуда колебаний уменьшилась до значения угла застоя картушки. Так как текущая амплитуда определяется зависимостью (2.15)

$$A = A_u e^{-ht},$$

то искомое время

$$t_n = \frac{1}{h} \ln \frac{A_u}{\alpha}.$$

Для определения значения h воспользуемся равенством (2.21):

$$h = \frac{2 \ln f}{T_0} = \frac{2 \cdot \ln 2,7}{22} = 0,09 \frac{1}{c}.$$

Тогда

$$t_n = \frac{1}{0,09} \ln \frac{30}{0,3} = 51,2 \text{ с}.$$

2.3.2. Компас имеет дополнительный кожух

В рассматриваемом случае в пространстве между поплавком 4 (рис. 2.12) и кожухом 3 будет находиться жидкость 2, угловая скорость $\dot{\beta}$ движения которой в течение переходного процесса будет отличаться от скорости $\dot{\alpha}$ поворота картушки 1 и скорости жидкости 5, заполняющей котелок. В связи с этим появится дополнительный момент сил вязкого трения, который будет воздействовать на картушку. Указанный момент определяется следующим равенством:

$$M_5 = \kappa_{\partial 1} (\dot{\alpha} - \dot{\beta}), \quad (2.22)$$

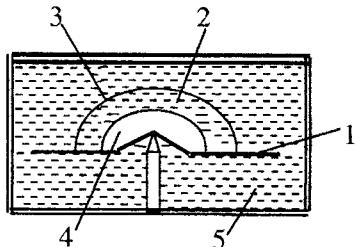


Рис. 2.12

где $\kappa_{\partial l}$ – коэффициент трения жидкости 2, находящейся под кожухом, о его внутреннюю поверхность и внешнюю поверхность поплавка 4. С учетом этого момента уравнение (2.2), определяющее закон изменения угла α , примет следующий вид:

$$I\ddot{\alpha} + k_{\partial}\dot{\alpha} + k_{\partial l}(\dot{\alpha} - \dot{\beta}) + \mu_0 MH\alpha = M_m sign\dot{\alpha} + M(t). \quad (2.23)$$

Как видим, в приведенном уравнении появилась новая переменная $\dot{\beta}$, текущее значение которой должно быть определено. Если считать, что все частицы жидкости, находящейся под кожухом, движутся практически с одинаковой скоростью, что вполне допустимо при рассмотрении собственного движения картушки [4], то закон изменения угловой скорости $\dot{\beta}$ может быть определен следующим уравнением:

$$I_1\ddot{\beta} + k_{\partial l}(\dot{\alpha} - \dot{\beta}) = 0, \quad (2.24)$$

где I_1 – момент инерции жидкости, заключенной внутри кожуха.

Таким образом, поведение картушки компаса в рассматриваемом случае определяется системой двух уравнений второго порядка:

$$\begin{aligned} I\ddot{\alpha} + k_{\partial}\dot{\alpha} + k_{\partial l}(\dot{\alpha} - \dot{\beta}) + \mu_0 MH\alpha &= M_m sign\dot{\alpha} + M(t), \\ I_1\ddot{\beta} + k_{\partial l}(\dot{\alpha} - \dot{\beta}) &= 0. \end{aligned} \quad (2.25)$$

Решение данной системы при условии, что $M(t) = 0$, может быть записано в следующем виде [4]:

$$\alpha = \alpha_0 e^{-at} \sin(\omega t + \varphi) + \frac{M_m}{\mu_0 MH}, \quad (2.26)$$

где a_0 – постоянная, зависящая от начальных условий,

$$\begin{aligned} a &= \frac{\kappa_{\partial} + \kappa_{\partial l}}{I} + \frac{k_{\partial l}}{I_1}, \\ \omega &= \sqrt{\frac{\mu_0 MH}{I} - \left(\frac{k_{\partial} + k_{\partial l}}{2I} + \frac{k_{\partial l}}{2I_1} \right)^2}. \end{aligned} \quad (2.27)$$

2.3. Собственное движение картушки магнитного компаса

Сравнивая выражения (2.27) и (2.3) замечаем, что частота собственных колебаний ω уменьшилась за счет наличия $k_{\text{дл}}$ и I_1 , а значение показателя затухания – увеличилось. Рассмотрим в качестве примера следующие задачи.



Решим
задачу

Задача 2.3. Определить значение показателя затухания a для $k_{\text{дл}}=k_d=0,36 \cdot 10^{-4}$ Нмс и $I_1=1,5 I = 3 \cdot 10^{-4}$ кг·м².

Решение:

$$a = \frac{2k_d}{I} + \frac{k_d}{1,5I} = 2,7 \frac{k_d}{I} = 0,49 \frac{1}{c}$$

Если учесть, что показатель затухания $h = \frac{k_d}{2I}$, то становится очевидным, что $a = 2h$.

=5,4 h. Отсюда следует, что использование в компасе дополнительного кожуха может существенно повысить показатель затухания амплитуды колебания картушки компаса.

Задача 2.4. Определить период затухающих колебаний картушки МК с дополнительным кожухом и без него для примятых ранее параметров прибора.

Решение: Подставляя численные значения во второе равенство (2.27), найдем:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 12}{2 \cdot 10^{-4}} - \left(\frac{4 \cdot 0,36 \cdot 10^{-4}}{3 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \right)^2} = 0,3 \frac{1}{c}.$$

При отсутствии дополнительного кожуха

$$\omega = \sqrt{\frac{\mu_0 M H}{I} - \left(\frac{k_d}{2I} \right)^2} = \sqrt{\frac{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 12}{2 \cdot 10^{-4}} - \left(\frac{0,36 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} \right)^2} = 0,37 \frac{1}{c}$$

Периоды колебаний компасов будут соответственно равны:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = \frac{2\pi}{0,3} = 21 \text{ c}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{0,37} = 16,9 \text{ c}.$$

Как видим, период колебаний картушки с дополнительным кожухом возрос на

$$\delta T = \frac{T_1 - T}{T} \cdot 100 = \frac{21 - 16,9}{16,9} \cdot 100 = 24 \text{ \%}.$$

Путем использования дополнительного кожуха в компасе КМ-145 период колебаний его картушки удалось увеличить до 39 с [4].

Задача 2.5. Определить длительность переходного процесса для рассматриваемых параметров компаса с дополнительным кожухом у картушки.

Решение: По аналогии с равенством, использованным в задаче 2.2, запишем:

$$t_n = \frac{1}{a} \ln \frac{\alpha_0}{\alpha} = \frac{1}{0,49} \ln \frac{30}{0,3} = 9,4 \text{ c}.$$

Как видим, время переходного процесса в рассматриваемом случае существенно сократилось по сравнению с его значением, найденным в упомянутой выше задаче.

2.4. Вынужденное движение картушки магнитного компаса

Вынужденное движение картушки МК происходит под действием моментов внешних сил, изменяющихся во времени периодически или по случайному закону. Эти воздействия возникают в реальных условиях эксплуатации прибора, например, в результате качки судна и могут оказывать заметное влияние на качество его работы.

Для оценки характера и степени влияния указанных моментов внешних сил обратимся к уравнению (2.2), в котором момент трения в опорах картушки будем считать пренебрежимо малым, а момент $M(t)$ изменяющимся по гармоническому закону:

$$M(t) = M_a \sin \omega t, \quad (2.28)$$

где M_a – амплитудное значение возмущающего момента. При указанных условиях с учётом обозначений, принятых в предыдущем параграфе, уравнение (2.2) примет вид:

$$\ddot{\alpha} + 2h\dot{\alpha} + \omega_0^2\alpha = \frac{M_a}{I} \sin \omega t. \quad (2.29)$$

Поскольку полученное уравнение является линейным с постоянными коэффициентами, угол α будет изменяться по гармоническому закону с частотой ω вынуждающего воздействия. Это позволяет интересующее нас решение представить в следующем виде:

$$\alpha = A_1 \cos \omega t + A_2 \sin \omega t, \quad (2.30)$$

где A_1 и A_2 – искомые амплитуды колебаний картушки.

Определим производные $\dot{\alpha}$ и $\ddot{\alpha}$:

$$\begin{aligned} \dot{\alpha} &= -A_1 \omega \sin \omega t + A_2 \omega \cos \omega t, \\ \ddot{\alpha} &= -A_1 \omega^2 \cos \omega t - A_2 \omega^2 \sin \omega t \end{aligned} \quad (2.31)$$

и подставим их вместе с равенством (2.30) в уравнение (2.29). В результате получим:

$$\begin{aligned} &-A_1 \omega^2 \cos \omega t - A_2 \omega^2 \sin \omega t - 2A_1 h \omega \sin \omega t + 2A_2 h \cos \omega t + \\ &+ \omega_0^2 A_1 \cos \omega t + \omega_0^2 A_2 \sin \omega t = \frac{M_a}{I} \sin \omega t. \end{aligned} \quad (2.32)$$

Для того, чтобы выполнялось равенство (2.32), должны быть равны коэффициенты при одинаковых гармониках в его левой и правой частях. Это позво-

2.4. Вынужденное движение картушки магнитного компаса

ляет нам записать два следующих равенства:

$$\begin{aligned} A_1(\omega_0^2 - \omega^2) + 2h\omega A_2 &= 0, \\ A_2(\omega_0^2 - \omega^2) - 2h\omega A_1 &= \frac{M_a}{I}. \end{aligned} \quad (2.33)$$

Для определения искомых амплитуд A_1 и A_2 воспользуемся формулами Крамера:

$$A_1 = \frac{\Delta_{A1}}{\Delta}, \quad A_2 = \frac{\Delta_{A2}}{\Delta}, \quad (2.34)$$

где Δ - характеристический определитель, составленный из коэффициентов левой части равенств (2.33):

$$\Delta = \begin{vmatrix} \omega_0^2 - \omega^2 & 2h\omega \\ -2h\omega & \omega_0^2 - \omega^2 \end{vmatrix} = (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2; \quad (2.35)$$

Δ_{A1} - частный определитель, полученный путём замены в определителе (2.35) коэффициентов при A_1 правыми частями равенств (2.33):

$$\Delta_{A1} = \begin{vmatrix} 0 & 2h\omega \\ M_a/I & \omega_0^2 - \omega^2 \end{vmatrix} = 2 \frac{M_a}{I} h\omega; \quad (2.36)$$

Δ_{A2} - частный определитель, полученный путём аналогичной замены коэффициентов при A_2 :

$$\Delta_{A2} = \begin{vmatrix} \omega_0^2 - \omega^2 & 0 \\ -2h\omega & M_a/I \end{vmatrix} = \frac{M_a}{I} (\omega_0^2 - \omega^2). \quad (2.37)$$

Подставляя значения определителей в выражение (2.34), найдём:

$$A_1 = -\frac{2M_a h\omega}{I[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2]}, \quad A_2 = \frac{M_a(\omega_0^2 - \omega^2)}{I[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2]}. \quad (2.38)$$

Запишем уравнения (2.30) в несколько ином виде. Для этого введём обозначения, аналогичные использованным в предыдущем параграфе:

$$A_1 = B \sin \psi, \quad A_2 = B \cos \psi. \quad (2.39)$$

С учётом принятых обозначений найдём:

$$\alpha = B \sin(\omega t - \psi), \quad (2.40)$$

где амплитуда B вынужденных колебаний картушки компаса определяется путём возведения в квадрат каждого равенства (2.39) и сложения полученных результатов, а фаза ψ - из отношения первого равенства ко второму. С учётом

выражений (2.38), будем иметь:

$$B = -\frac{M_a}{I\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2}}, \quad \psi = \arctg \frac{2h\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (2.41)$$

Полученные выражения показывают, что под действием периодических возмущающих моментов картушка компаса совершают вынужденные колебания

с частотой возмущающего воздействия, амплитуда и фазовый сдвиг которых зависит как от параметров возмущающих воздействий, так и от параметров компаса. Для судоводителя больший интерес представляет амплитудно – частотная характеристика картушки (рис. 2.13), построенная по первому равенству (2.41), т.к. она характеризует величину амплитуды колебаний картушки при различных частотах внешних воздействий.

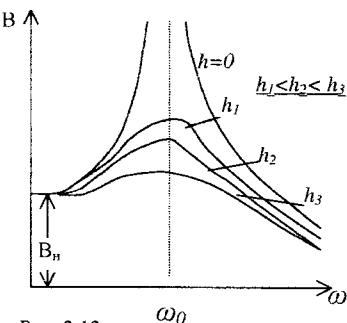


Рис. 2.13

ризует величину амплитуды колебаний картушки при различных частотах внешних воздействий.

Если частота возмущающего воздействия значительно меньше резонансной частоты, то, как это следует из равенства (2.41), амплитуда B_n (рис. 2.13) колебания картушки будет определяться следующим приближённым равенством:

$$B_n = \frac{M_a}{I\omega_0^2} = \frac{M_a}{\mu_0 H M}. \quad (2.42)$$



Из полученного выражения видно, что указанная амплитуда в рассматриваемом случае практически не зависит от частоты возмущающего воздействия и будет тем меньше, чем больше магнитный момент картушки.

Если частота внешнего воздействия соизмерима с резонансной частотой, то по мере приближения её к частоте собственных колебаний картушки амплитуда колебаний последней растёт и достигает своего максимума при резонансе ($\omega = \omega_0$). При этом её значение будет определяться следующим равенством:

2.4. Вынужденное движение картушки магнитного компаса

$$B_p = \frac{M_a}{2Ih\omega_0} = \frac{M_a}{2h\sqrt{I\mu_0 HM}}. \quad (2.43)$$

Из полученного равенства видно, что **максимальное значение амплитуды зависит от коэффициента h , определяющего степень демпфирования движения картушки. Чем больше степень демпфирования, тем меньше будет выражен резонансный пик.** Однако, слишком высокая степень демпфирования может привести к возникновению дополнительных внешних моментов и к апериодическому характеру переходного процесса что, как правило, нежелательно.

Если частота возмущающего воздействия значительно превышает частоту ω_0 , то амплитуда колебаний будет существенно уменьшаться с увеличением разницы частот. Действительно, в рассматриваемом случае

$$B \approx \frac{M_a}{I\omega^2} \quad (2.44)$$

и амплитуда убывает обратно пропорционально квадрату частоты возмущающего воздействия. В этой области существенно сказывается инерционность картушки компаса.

Таким образом, при проектировании магнитного компаса следует выбрать такие его параметры, которые бы исключали возможность возникновения резонансных колебаний или близких к ним. Так как период собственных колебаний картушки компаса, как правило, превышает период качки судна, использование описанного ранее дополнительного кожуха, заполненного жидкостью, приводит к снижению амплитуды ее вынужденных колебаний.

2.5. Системы дистанционной передачи информации

Как уже отмечалось выше, современные МК снабжаются системой дистанционной передачи информации. Наибольшее распространение получили оптические и электромеханические системы. Последние более универсальны, т.к. позволяют не только отобразить информацию на репитерах, но и ввести её в другие устройства, например, РЛС, авторулевые и т.п.



Важно!

Электромеханические системы дистанционной передачи информации МК часто дополняются электронными системами с целью преобразования аналогового сигнала в цифровой для передачи его по линиям связи и отображения на цифровых репитерах. Могут применяться цифровые системы дистанционной передачи информации с последующим преобразованием её в аналоговый сигнал для тех потребителей, которые работают с указанным видом сигнала. Рассмотрим вкратце отдельные виды систем.

2.5.1. Оптическая система дистанционной передачи информации

Оптическая система дистанционной передачи позволяет отобразить в ходовой рубке информацию о курсе судна, снятую с картушки компаса. Это может быть обеспечено путём использования специальной оптической трубы, связывающей МК с ходовой рубкой, или с помощью волоконного оптического кабеля.

Схема передачи информации по оптической трубе показана на рис. 2.14.

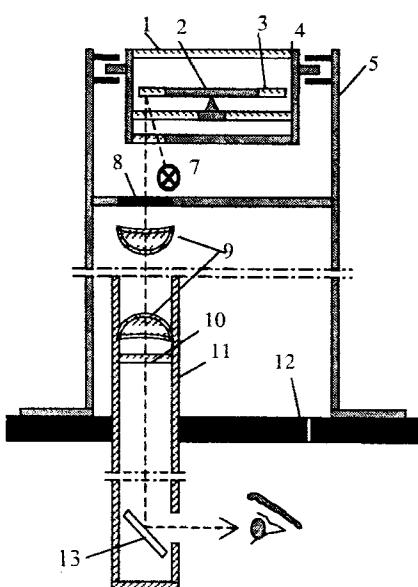


Рис.2.14

Котелок 4 магнитного компаса имеет картушку 2 с прозрачной шкалой 3. Сверху котелок накрыт стеклом 1 и установлен в нактоузе 5. Шкала картушки может подсвечиваться лампочкой 7, благодаря чему она хорошо видна в любое время суток. Луч света проходит через прозрачное стекло 8, оптическую систему 9, стекло 10 и далее попадает на зеркало 13, положение которого может подстраиваться под глаз наблюдателя. Оптическая труба проходит сквозь подволок 12 ходовой рубки, располагается над стойкой авторулевого и имеет подогрев с целью предотвращения запотевания стекол.

2.5. Системы дистанционной передачи информации

На рис. 2.15 приведен внешний вид оптической трубы МК “Сектор”. Зеркало 1 и ручки 2 его настройки находятся в нижней части трубы. Здесь же располагаются выключатель 3 освещения шкалы и регулятор 4 его яркости. Оптическая труба устанавливается в нактоузе МК.

Несколько иначе выглядит оптическая система передачи информации по волоконному кабелю. Она имеет объектив, позволяющий проектировать небольшой сектор шкалы картушки на входной конец световода. Выходной его конец соединен с репитером, который, как правило, проектирует изображение, передаваемое по кабелю, на экран в виде матового стекла. Такой репитер позволяет видеть значение текущего курса судна нескольким наблюдателям одновременно.

Могут иметь место и иные варианты построения оптических дистанционных передач, но они не несут в себе каких либо принципиальных отличий.

2.5.2. Электромеханическая система дистанционной передачи информации

Электромеханическая система дистанционной передачи информации, как правило, создаётся на базе индукционного датчика (ИД) ориентации картушки МК. Этот датчик содержит два или три магнитных зонда (часто их называют феррозондами), каждый из которых позволяет определить значение составляющей напряжённости измеряемого магнитного поля вдоль своей оси. Совместное использование сигналов этих зондов даёт возможность определить направление вектора напряженности магнитного поля, созданного картушкой компаса, относительно диаметральной плоскости судна.

Принцип действия магнитного зонда

Магнитный зонд имеет два сердечника 1 (рис. 2.16), выполненные из магнитомягкого материала с высокой магнитной проницаемостью, например, из

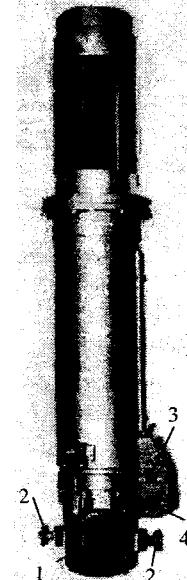


Рис.2.15

Глава 2. Магнитные компасы с картушкой

пермаллоя. На каждый сердечник наматываются обмотки 2 и 3, имеющие

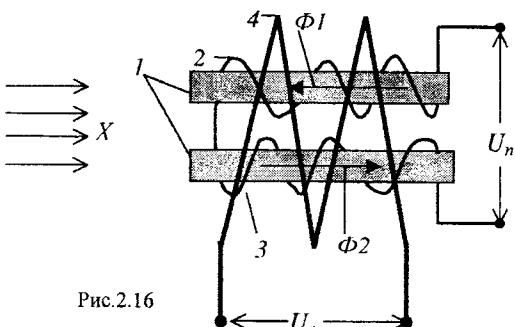


Рис.2.16

одинаковое количество витков. Эти обмотки соединяются последовательно и встречно и питаются напряжением U_n переменного тока. Магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 , создаваемые указанными обмотками, в любой фиксированый момент времени равны друг другу и противоположно направлены (рис. 2.17 а). Величина этих потоков подбирается таким образом, чтобы стерж-

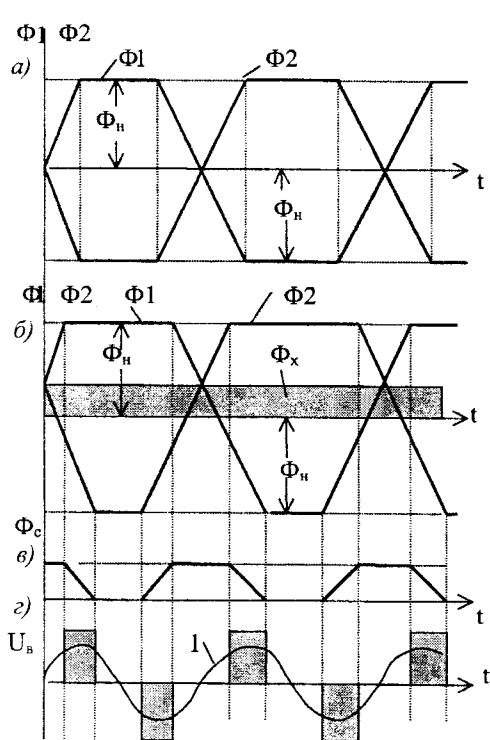


Рис.2.17

ни при любом значении напряжённости измеряемого магнитного поля гарантированно переводились бы в состояние насыщения. На оба сердечника наматывается общая обмотка 4, с которой снимается выходной сигнал U_s магнитного зонда.

Принцип действия зонда состоит в следующем. При отсутствии внешнего намагничивающего поля X (рис. 2.16) результирующий магнитный поток $\Phi_c = \Phi_1 - \Phi_2$, связанный с обмоткой 4, будет равен нулю и на ее выходе никакого сигнала не будет.

2.5. Системы дистанционной передачи информации

Если напряжённость X измеряемого поля не равна нулю, то магнитный поток Φ_x этого поля в одном стержне будет складываться с потоком подмагничивания, а в другом вычитаться из него. Это приведёт к тому, что оба сердечника будут переходить в режим насыщения не одновременно (рис. 2.17 б), как это было при $X=0$. В результате суммарный магнитный поток Φ_c , сцеплённый с обмоткой 4, будет изменяться так, как это показано на рис. 2.17 в. Изменение потока приведёт к появлению на выходной обмотке 4 напряжения U_s (рис. 2.17 г), пропорционального степени асимметрии потоков Φ_1 и Φ_2 , а следовательно, и напряжённости измеряемого поля. В связи с тем, что за один период напряжения подмагничивания стержни будут переходить в насыщенное состояние два раза, частота импульсов U_s будет в два раза выше частоты напряжения U_n . В результате последующей фильтрации напряжение U_s преобразуется к гармоническому виду 1.

Следует отметить, что фаза выходного сигнала магнитного зонда изменяется на противоположную, если вектор напряжённости измеряемого поля меняет свой знак.

Структура системы дистанционной передачи информации

Как уже было указано выше, ИД может содержать в своём составе два или три феррозонда, каждый из которых измеряет составляющую магнитного поля картушки вдоль оси своих сердечников. Он размещается в котелке МК под картушкой (рис. 2.4) и вместе с котелком ориентируется требуемым обра-

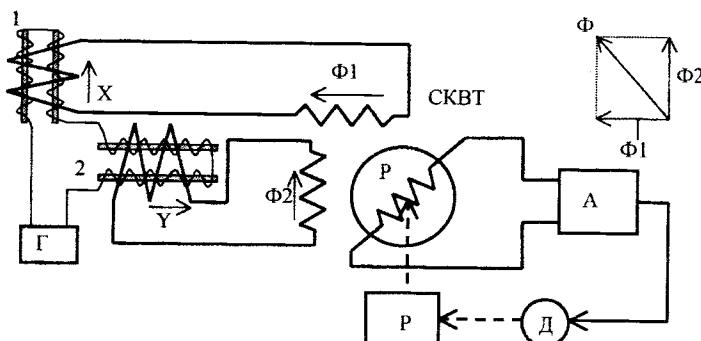


Рис.2.18.

зом относительно диаметральной плоскости судна.

Если используется двухзондовый ИД, то ось чувствительности одного зонда устанавливается вдоль диаметральной плоскости, а другого перпендикулярно ей. В этом случае зонд 1 (рис. 2.18) будет измерять продольную составляющую X поля картушки, а зонд 2 – поперечную Y . Сигнальные обмотки зондов связаны со статорными обмотками синусно-косинусного вращающегося трансформатора (СКВТ). Получая от зондов напряжение, пропорциональное указанным компонентам магнитного поля картушки, эти обмотки создают внутри СКВТ ортогональные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 , образующие в сумме магнитный поток Φ ориентация вектора Φ которого внутри статора определяется положением картушки относительно диаметральной плоскости судна. Магнитный поток Φ индуцирует в обмотках ротора СКВТ напряжения, которые будут зависеть как от величины потока, так и направления вектора Φ относительно плоскости роторных обмоток. Если плоскость обмотки ротора параллельна вектору Φ , то ЭДС, индуцированная в ней, при любом значении его модуля будет равна нулю. Таким образом, устанавливая ротор СКВТ в такое положение, когда на одной из его обмоток сигнал постоянно будет равен нулю, мы будем отслеживать изменение ориентации картушки относительно диаметральной плоскости судна.

С этой целью, сигнал с роторной обмотки СКВТ после его усиления усилителем A поступает на двигатель D , который через редуктор P поворачивает ротор СКВТ. Когда сигнал, поступающий на двигатель, станет равным нулю, вращение ротора прекратится.

В трёхзондовом датчике оси зондов образуют равносторонний треугольник (рис. 2.19). Их обмотки подмагничивания (на рисунке эта часть схемы не показана) включаются последовательно и питаются от специального генератора переменного тока. Сигнальные обмотки соединены в треугольник и подключены к статорным обмоткам сельсина. В рассматриваемом случае измеряются три составляющие H_1 , H_2 и H_3 магнитного поля, образованного картушкой компаса. Напряжения, пропорциональные измеренным компонентам, создают в сель-

2.5. Системы дистанционной передачи информации

сine три магнитных потока Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 . Направление вектора напряженности результирующего поля, образованного указанными потоками, будет, как и в предыдущем случае, определяться текущей ориентацией картушки МК. Ротор сельсина с помощью следящей системы, аналогичной рассмотренной выше, будет приводиться в состояние, при котором сигнал, снимаемый с его обмотки,

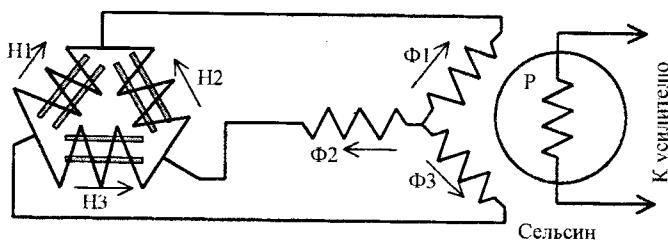


Рис. 2.19

будет равен нулю. Таким образом, осуществляется отслеживание поворотов картушки компаса и, как следствие, изменения курса судна.

Наряду с описанными вариантами, могут использоваться датчики, в кото-

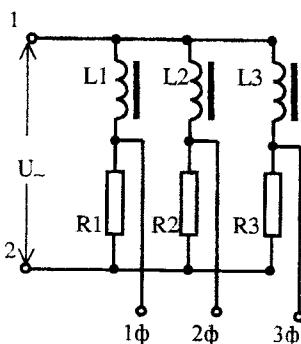


Рис. 2.20

рых магнитный зонд имеет одну обмотку и является, по существу, переменным индуктивным сопротивлением. Величина указанного сопротивления зависит от степени подмагничивания сердечника полем магнитов картушки. Электрическая схема такого датчика показана на рис. 2.20. Сердечники зондов $L1 \dots L3$ повернуты в пространстве друг относительно друга на угол, равный 120° , аналогично тому,

как это имело место в рассмотренном выше трехзондовом ИД. Степень их намагниченности, а, следовательно, и величина индуктивного сопротивления обмоток, будет зависеть от ориентации зондов по отношению к картушке МК. Напряжения на резисторах $R1 \dots R3$ определяются разностью напряжения U_{\perp} и падений напряжений на обмотках феррозондов. В связи с тем, что их векторы

Глава 2. Магнитные компасы с картушкой

развернуты друг относительно друга на угол 120^0 , то в совокупности они представляют собой трехфазное напряжение, которое может быть использовано для дистанционной передачи информации системой, аналогичной рассмотренной выше.

На этом принципе фирмой Аншютц разработан магнитный зонд типа 108-010, который может быть смонтирован на любой компас, не имеющий

встроенной электромеханической дистанционной передачи. Зонд может быть установлен на котелке 6 компаса как сверху, так и снизу (Рис. 2.21). Для центрирования установочной шайбы 3 отдельно шкалы картушки используется специальная накладка 4, которая после наклеивания шайбы на стекло удаляется. К установочной шайбе с помощью шпилек 2 крепится магнитный зонд 1. Сам котелок располагается, как обычно, в кольце 5 карданова подвеса. Общий вид котелка компаса с установленным на нем зондом 1 показан на рис. 2.22.

Следует иметь в виду, что выше описан лишь принцип построения дистанци-

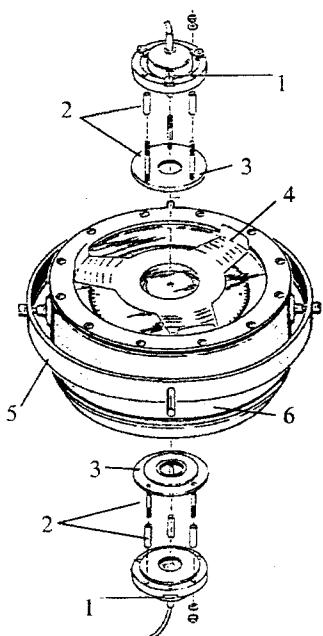


Рис.2.21

онных систем. Реальные устройства имеют более сложный состав, позволяющий решать задачи устойчивости работы следящих систем, компенсировать часть ошибок МК, сравнивать его сигналы с сигналами, поступающими от других курсоуказателей и т.п.

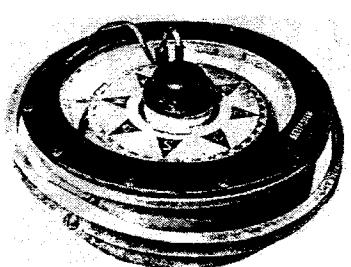


Рис.2.22

2.5. Системы дистанционной передачи информации

Как было указано выше, описанные электромеханические синхронные системы передачи угла поворота картушки не являются единственно возможными и заведомо лучшими системами, предназначенными для решения рассматриваемой задачи. Уместно предположить, что на современном уровне развития цифровой техники использование чисто электронных систем связи может оказаться более предпочтительным. Одним из примеров такой системы является вариант дистанционной передачи, использующий емкостной преобразователь угла поворота картушки МК [6, 8].

На рис. 2.23 представлена функциональная схема данного устройства.

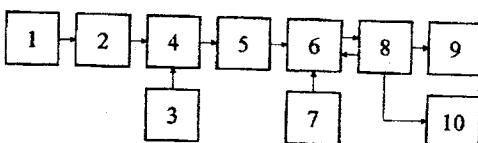


Рис.2.23

Дистанционный магнитный компас содержит первичный емкостный преобразователь углового

перемещения 1; вторичный частотный преобразователь 2; опорный кварцевый генератор 3; смеситель 4; формирователь однополярных импульсов 5; вычислительный блок 6; программатор 7; интерфейс ввода-вывода информации 8; цифровой индикатор 9 и буферный регистр 10.

Первичный преобразователь углового перемещения представляет собой конденсатор переменной емкости, ротор которого жестко связан с картушкой компаса. Он включен в схему кварцевого генератора 2, частота которого определяется текущим значением этой емкости, зависящей от курса судна. Таким образом, угловое перемещение картушки компаса преобразуется сначала в изменение емкости, а затем в отклонение частоты колебаний. Колебания разностной частоты, получаемые в смесителе 4 путем смешения частот управляемого 2 и опорного 3 кварцевых генераторов, преобразуются формирователем импульсов 5 в последовательность однополярных импульсов, период следования которых содержит информацию о компасном курсе судна. Эта информация обрабатывается в вычислительном блоке 6, с учетом значения магнитной девиации, которая вводится в программатор штурманом через клавиатуру интерфейса ввода-вывода информации 8. Аналогичным образом вводятся значения магнит-

ного склонения. Последний процесс можно автоматизировать, поскольку названные значения зависят от географического местоположения судна.

Вычисленное значение истинного курса судна отображается на цифровом индикаторе 9 и через буферный регистр 10 выдается на вход системы автоматической прокладки курса, авторулевого, в цифровые репитеры и другие принимающие устройства.

Из всех блоков функциональной схемы рис. 2.23 наиболее специфичен первичный емкостный преобразователь углового перемещения картушки компаса. К достоинствам этого преобразователя можно отнести высокую чувствительность, малую инерционность, малое усилие электрического взаимодействия между обкладками конденсатора, возможность получения практически любой функциональной зависимости емкости от измеряемого угла поворота, простоту и технологичность конструкции, малые габариты и массу. Главное же достоинство емкостных первичных преобразователей — простота преобразования измеряемой входной неэлектрической величины в частоту колебаний вторичного преобразователя (автогенератора гармонических или импульсных электрических колебаний). Известно [7], что частотный метод преобразования неэлектрических величин в электрические обеспечивает значительно большую точность, чем амплитудный.

В рассматриваемом преобразователе углового перемещения картушки компаса используется конденсатор с переменной площадью перекрытия пластин. При этом форма характеристики преобразования задается фигурной обкладкой, образующая которой выполнена в виде спирали Архимеда.

На рис. 2.24, схематически изображен упрощенный вариант конструкции преобразователя углового перемещения картушки магнитного компаса в значение емкости. Здесь 1 — диэлектрическая пластина соответствующей конфигурации (ротор дифференциального конденсатора переменной емкости); 2 - стержни, жестко крепящие пластину 1 к нижней части картушки компаса 3; 4 — шпилька, на которую опирается топка картушки компаса; 5 - котелок компаса; 6 — диэлектрический кронштейн для крепления металлизированных ста-

2.5. Системы дистанционной передачи информации

торных обкладок дифференциального конденсатора переменной емкости 7, оси

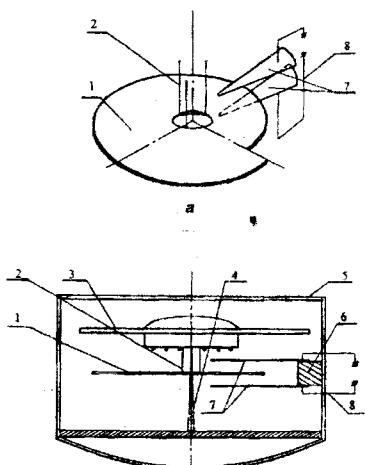


Рис.2.24

которых расположены в диаметральной плоскости судна; 8 — выходные контакты первичного преобразователя.

Использование диэлектрика для изготовления ротора первичного преобразователя позволяет обеспечить минимальное утяжеление картушки компаса. Наиболее подходит высокочастотный диэлектрик фторопласт-4, отличающийся температурной устойчивостью, высокой стойкостью к действию химических реагентов, незначительным старением и малым коэффициентом трения. Фторопласти марок 4Д и 42

позволяют изготавливать детали малой толщины.

Благодаря частотному методу преобразования физических величин и цифровой обработке информации показания описанного магнитного компаса могут передаваться по проводам или по радио на практически любое число репитеров, непрерывно вводиться в память компьютера, использоваться при автоматической прокладке курса судна. При этом программным способом учитываются остаточная девиация и магнитное склонение. В отличие от дистанционных компасов с сельсинной передачей показаний на репитеры рассмотренное устройство бесшумно.

Следует иметь в виду, что следящие системы передают информацию от картушки МК к потребителям с некоторой погрешностью, что уменьшает точность работы системы в целом. Однако их собственная погрешность, как правило, значительно меньше погрешностей самого МК и ее влияние на общий результат несущественно.

2.6. Дополнительные устройства компаса

Наряду с уже описанными системами магнитные компасы имеют дополнительные устройства, позволяющие решать ряд необходимых задач. Основными

из них являются репитеры и пеленгаторы. Первые позволяют отобразить снимаемую информацию о курсе в различных местах судна и, тем самым, обеспечить более простой доступ к ней. Вторые дают возможность измерять пеленги и курсовые углы на ориентиры, которые необходимы для решения определённых навигационных задач. Рассмотрим указанные устройства.

2.6.1. Репитеры

Репитеры, используемые для отображения информации о курсе судна, по их назначению можно разделить на *путевые* и *для пеленгования*. Первые размещаются в тех судовых помещениях, где необходима информация, поставляемая ими. Конструктивно путевые репитеры могут входить в состав отдельных приборов комплекта компаса. Репитеры для пеленгования размещаются на крыльях ходового мостика, строго ориентируются относительно диаметральной плоскости судна и снабжаются пеленгаторами.

В большинстве своем репитеры универсальны и могут работать как по сигналам магнитного компаса, так и по сигналам других курсовых устройств, например, гирокомпаса.

В зависимости от вида, в котором отображается информация, репитеры могут быть *аналоговыми* и *цифровыми*. Нередко аналоговую и цифровую информацию о курсе судна выводят на одном репитере, что создаёт определённые удобства при её использовании. Иногда на цифровых репитерах наряду с информацией о текущем курсе судна отображается та или иная дополнительная информация, например, об отклонении судна от заданного курса. Информация, поступающая от МК, может также отображаться на различных судовых интегрированных информационных дисплеях.

Большое распространение на практике получила система синхронной дистанционной передачи аналоговой информации. Как правило, она строится на сельсинах, один из которых ($СД$) (рис. 2.25) механически связан с двигателем $Д$ следящей системы и является сельсином датчиком, а другие ($СП_1$, $СП_2 \dots$) составляют основу самих репитеров.

2.6. Дополнительные устройства компаса

Двигатель D поворачивает ротор сельсина датчика $СД$ в соответствии с изменением ориентации картушки $МК$. Обмотка возбуждения этого сельсина, по-

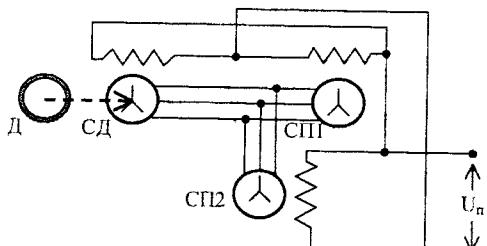


Рис. 2.25

и роторных обмоток принимающих сельсинов последние будут отслеживать повороты ротора сельсина датчика.

На рис. 2.26 показан один из возможных вариантов кинематической схемы рассматриваемого репитера. Принимающий сельсин 5 при помощи зубчатой передачи 4 связан со шкалами грубого 2 и точного 1 отсчёта. Как правило, цена деления шкалы грубого отсчёта составляет 1 градус, а шкалы точного отсчёта – $0,1^\circ$. В репитерах для пеленгования наряду с основной шкалой в зеркальном изобра-

жении со сдвигом на 180° нанесена вспомогательная шкала, позволяющая снимать значения прямого пеленга на объект. В темное время суток шкалы подсвечиваются.

Описанная система дистанционной передачи информации не является самосинхронизирующейся, т.е. после ее включения показания различных репитеров могут расходиться между собой. Поэтому требуется начальное согласование шкал принимающих репитеров с показаниями картушки $МК$ или репитера центрального прибора, которые,

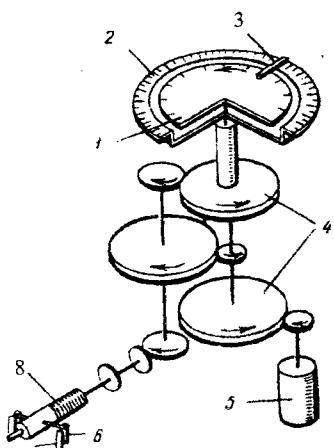


Рис.2.26

как правило, синхронизируются между собой автоматически. Это осуществляется специальным ключом, с помощью которого разрывается цепь питания сельсина приёмника и производится поворот его ротора. Так, при согласовании репитера, показанного на рис. 2.26, ключом разрываются контакты 6 и 7 и поворачивается валик 8, который, в свою очередь, через редуктор поворачивает шкалы репитера. В некоторых репитерах зарубежного производства согласование производится с помощью обычной отвертки (рис. 2.27). После согласования отверстие для отвертки закрывается крышкой.

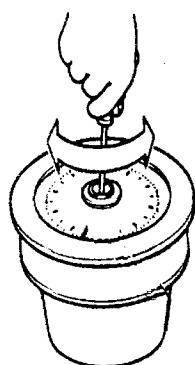


Рис.2.27

В последнее время широкое применение на практике получили шаговые дистанционные системы передачи информации. В основе репитеров, используемых этими системами, лежит шаговый мотор, механически связанный со шкалами. Каждый импульс, поступающий на обмотку шагового мотора, поворачивает его ротор на определенный угол. Наибольшее распространение на практике получили шаговые дистанционные системы с разрешением 192 шага на один градус угла поворота шкалы и 6 шагов на один градус.

В качестве примера на рис. 2.28 приведена электрическая схема одного из возможных вариантов шагового мотора. Он содержит три пары обмоток, оси которых повернуты друг относительно друга на угол, равный 60^0 . Ротор мотора выполнен из феромагнитного материала и имеет крестообразную форму. Положение ротора зависит от того, какие обмотки в данный момент находятся под напряжением. В том случае, если напряжение подано на клемму 5 и обмотку 1, ориентация ротора будет соответствовать показанной на рисунке. При данной ориентации зубцы ротора A и C располагаются вдоль оси обмоток статора и результирующий мо-

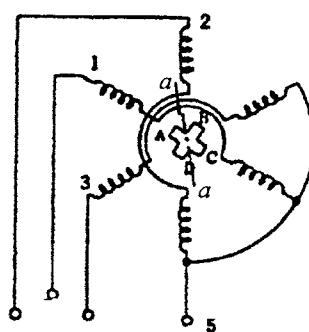


Рис. 2.28

2.6. Дополнительные устройства компаса

мент, действующий на него, будет практически равен нулю. Для того чтобы повернуть ротор на один шаг необходимо подать напряжение одновременно на две обмотки, например 1 и 2. В этом случае произойдет поворот на 15^0 против часовой стрелки, в результате которого зубцы расположатся симметрично относительно осей указанных обмоток (линия $a - a$ будет проходить по биссектрисе угла между ними) и силы притяжения ротора с их стороны будут уравновешивать друг друга. Для того, чтобы произошел поворот на следующий шаг, следует подать напряжение только на обмотки 2. В этом случае зубцы B и D совместятся с направлением оси обмоток 2.

Таким образом, каждый шаг у рассматриваемого мотора равен 15^0 , а полный оборот его ротора будет происходить после подачи 24 импульсов управляющего напряжения. Ротор мотора связан со шкалой с помощью редуктора с передаточным отношением 1/90. В результате этого для поворота шкалы репитера на 1 градус необходимо подать на шаговый мотор 6 импульсов.

2.6.2. Пеленгаторы

Пеленгаторы служат для пеленгования предметов и небесных светил с целью определения места судна, оценки поправки компаса и решения ряда других задач. С помощью пеленгаторов определяют также курсовые углы ориентиров.

Пеленгование можно осуществлять как непосредственно с котелка магнитного компаса, так и с репитеров для пеленгования. В первом случае, как правило, снимается отсчет обратного пеленга, т.е. пеленга с ориентира на судно. Этот пеленг отличается от прямого на 180^0 . С репитеров для пеленгования при наличии дополнительной зеркальной шкалы, сдвинутой относительно основной на угол 180^0 , снимаются значения прямого пеленга на ориентир.

Пеленгаторы могут отличаться друг от друга размерами, конструктивными особенностями, но все они имеют основание 7 (рис. 2.29), глазную мишень 4, предметную мишень 2, зеркало 1 для пеленгования небесных светил, расположенных на высоте более 20^0 , и набор светофильтров 3, используемых для пеленгования Солнца. В комплект пеленгаторов, предназначенных для пеленгования с котелка компаса, входит перемычка 6 с чашкой 8, на которой устанав-

ливаются приборы при проведении девиационных работ.

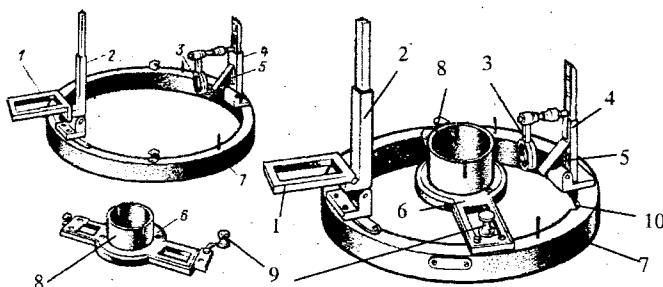


Рис. 2.29

Глазная мишень представляет собой планку с широкой вертикальной прорезью. Через эту прорезь можно наблюдать предметы при плохой видимости. При пеленговании днем прорезь прикрывают откидной шторкой с узкой щелью.

На планку надета каретка, несущая трехгранную призму 5 в металлической оправе, которая обеспечивает небольшое увеличение изображения делений картушки. Через призму снимают отсчет обратного магнитного пеленга.

На съемном мостике находится чашка, на которую устанавливают дефлектор – прибор, используемый при проведении девиационных работ, имеющих своей целью уменьшение ошибок компаса. Мостик закрепляется на компасе двумя гаечками 9. Чашка выполнена в форме цилиндра с фланцем, в которых проточены три отверстия для крепежных винтов. В цилиндрическую часть чашки ввинчен горизонтальный направляющий штифт, позволяющий правильно ориентировать дефлектор относительно визирной плоскости пеленгатора.

На пеленгаторе имеется индекс 10 для его ориентации относительно азимутальной шкалы компаса. Этот индекс смешен, как и азимутальная шкала, на 30^0 относительно визирной плоскости пеленгатора.

Для пеленгования с крыльев мостика чаще используются более совершенные оптические пеленгаторы. На рис. 2.30 представлен отечественный пеленгатор ПГК-2 [2]. Внутри корпуса 5 оптического пеленгатора размещены 2 оптические системы. Основная телескопическая система служит для наблюдения и пеленгования навигационных ориентиров. Дополнительная система — микро-

2.6. Дополнительные устройства компаса

скоп — предназначена для повышения точности снятия отсчета пеленга с

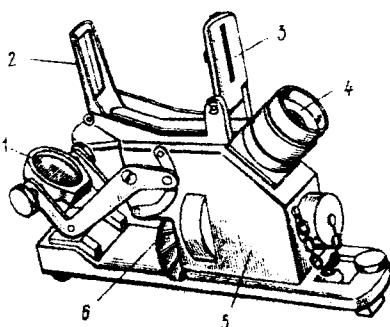


Рис. 2.30

картушки репитера. Обе системы имеют общий окуляр 4. Телескопическая система имеет светофильтры. Надлежащий фильтр выбирают посредством рычага 6. На корпусе оптического пеленгатора установлены глазная 3 и предметная 2 мишени для предварительной ориентации оптической оси телескопической системы в направлении пеленгуемого ориентира. Зеркало

1 используется для пеленгования Солнца и звезд.

Обратите
внимание

Оптические характеристики пеленгатора РГК-2

Кратность увеличения трубы	5,85
Кратность увеличения микроскопа	4
Чувствительность уровня	15'
Предел визирования по вертикали	0—60°

Зарубежные образцы оптических пеленгаторов, имея практически тот же

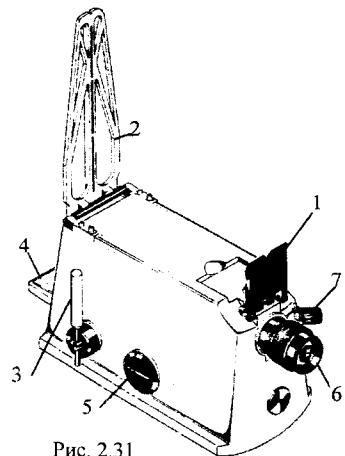


Рис. 2.31

состав, могут отличаться своими конструктивными особенностями. Для примера на рис. 2.31 приведен внешний вид пеленгатора типа 143-021 фирмы Аиншютц. Здесь 1 и 2 — глазная и предметная мишени, соответственно. Ручка 3 используется для регулировки положения зеркала 4. Патрон 5 содержит кристаллический осушитель воздуха, предохраняющий оптику от запотевания. Объектив 6 используется для точного пеленгования ориентира, а ручка 7

— для регулировки плотности оптических фильтров.



- 2.1. Каким образом котелок МК устанавливается в нактоузе?
 - 2.2. Сколько стержневых магнитов обычно используется в компасах?
 - 2.3. Если под стеклом котелка образовались воздушные пузырьки, каким образом и куда их можно переместить?
 - 2.4. От чего зависит угол застоя картушки МК?
 - 2.5. Какими параметрами характеризуется переходный процесс картушки МК?
 - 2.6. Что определяет вынужденное движение картушки МК?
 - 2.7. Как зависит амплитуда вынужденных колебаний картушки от частоты ω внешнего воздействия, если:
 - эта частота значительно меньше частоты ω_0 собственных колебаний картушки?
 - $\omega_0 \approx \omega$?
 - $\omega_0 >> \omega$?
 - 2.8. Почему в индукционном датчике системы дистанционной передачи частота выходного сигнала в два раза выше частоты питания этого датчика?
 - 2.9. Почему феррозонд ИД построен на двух сердечниках?
 - 2.10. Что лежит в основе синхронного и шагового репитеров?
 - 2.11. С какой целью в пеленгаторах используются зеркало и оптические фильтры?
 - 2.12. Необходимо ли устанавливать мостик на пеленгатор при пеленговании с главного магнитного компаса?
-

Глава 3

ИНДУКЦИОННЫЙ МАГНИТНЫЙ КОМПАС

3.1. Принцип действия индукционного магнитного компаса

Как уже отмечалось выше, наряду со стрелочными МК для морских судов стали разрабатываться индукционные компасы. Основными их достоинствами являются:

- отсутствие картушки и, как следствие, ошибки из-за наличия углов её застоя;
- отсутствие погрешности, обусловленной увлечением картушки поддерживающей жидкостью, заполняющей котёлок МК;
- меньшие величины динамических погрешностей МК;
- отсутствие необходимости устанавливать магнитный датчик прибора в громоздком нактоузе, что позволяет размещать его в наиболее благоприятных в магнитном отношении местах на судне;
- малые габариты магнитного датчика и компактное девиационное устройство или его отсутствие.

Чувствительным элементом рассматриваемого МК является индукционный датчик (ИД), содержащий, как и в электромеханической системе дистанционной передачи информации, два или три магнитных зонда, каждый из которых позволяет определить составляющую напряжённости магнитного поля вдоль его собственной оси. Только теперь измеряется судовое магнитное поле, основу которого составляет магнитное поле Земли. Совместное использование сигналов этих зондов даёт возможность определить направление вектора горизонтальной составляющей судового магнитного поля относительно диаметральной плоскости и, как следствие, курс судна.

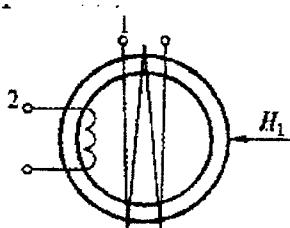


Рис. 3.1

В последнее время вместо стержневых феррозондов стали применяться кольцевые, имеющие одну обмотку возбуждения 2 (рис. 3.1) и од-

ну или несколько сигнальных обмоток 1. Это обусловлено наличием у последних ряда преимуществ, к числу которых можно отнести:

- однородность механических и магнитных параметров сердечника, а также параметров цепи возбуждения, что обеспечивает низкий уровень шума и более высокую стабильность “нуля” феррозонда;
- симметричная форма сердечника позволяет использовать несколько сигнальных обмоток, охватывающих сердечник и имеющих разные направления относительно вектора измеряемого поля, что исключается для стержневых феррозондов;
- размеры кольцевых сердечников могут быть значительно уменьшены по сравнению со стержневыми;
- отсутствует необходимость подбора сердечников.

Отечественные кольцевые феррозонды для двухкомпонентных измерений имеют сердечники в виде набора шайб из листового материала. Две сигнальные обмотки располагаются ортогонально друг к другу, причем с целью обеспечения возможности точной относительной ориентации обмоток одна из них выполняется подвижной.

Феррозонды могут питаться синусоидальным или прямоугольным напряжениями. Второе предпочтительнее, так как позволяет получить более устойчивую работу датчика при значительных коэффициентах усиления его сигнала, дает возможность построить систему в удобном микромодульном исполнении, которое не требует существенной настройки [4]. В обоих случаях выходные

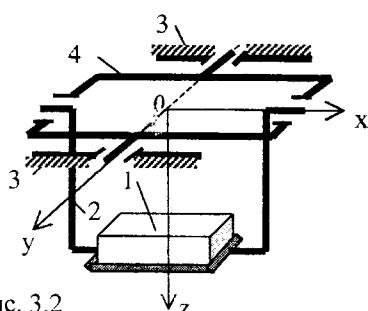


Рис. 3.2

сигналы чувствительного элемента представляют собой напряжения постоянного тока, полученные в результате синхронного детектирования гармоник выходных сигналов феррозондов, пропорциональных напряженностям измеряемых магнитных полей.

3.1. Принцип действия индукционного магнитного компаса

Алгоритмы вычисления компасного курса судна зависят от способа установки ИД компаса. И здесь возможны два варианта. В первом индукционный датчик 1 (рис. 3.2) устанавливается в корпусе прибора 3 в кардановом подвесе таким образом, чтобы центр масс системы был ниже центра подвеса, совпадающего с точкой o . В этом случае из-за наличия маятниковой ИД располагается в плоскости горизонта и остается вблизи ее во время качки судна. Элементами карданового подвеса являются наружное кольцо 4 и внутреннее кольцо 2. Первое может поворачиваться в корпусе прибора вокруг оси oy , а второе относительно кольца 4 вокруг оси ox . Корпус прибора заполняется жидкостью, обеспечивающей демпфирование колебаний индукционного датчика при воздействии внешних возмущающих факторов.

Таким образом, в случае использования двухкомпонентного индукционно-

го датчика его выходные напряжения в рассматриваемом случае будут определять составляющие X' и Y' напряженности судового магнитного поля, направленные вдоль диаметральной плоскости и плоскости шпангоутов, соответственно. Эти составляющие связаны с вектором H' горизонтальной составляющей судового магнитного поля следующими равенствами (рис. 3.3):

$$X' = H' \cos KK, \quad Y' = -H' \sin KK. \quad (3.1)$$

Текущий компасный курс KK судна определяется путем вычисления отношения выходных сигналов:

$$KK = \operatorname{arctg} \frac{Y'}{X'}. \quad (3.2)$$

Значение курса рассчитывается в пределах от 0^0 до 90^0 для того квадранта, в котором он находится. Номер квадранта устанавливается по знакам X' и Y' , которые соответствуют приведенным в таблице 3.1.

Для того чтобы исключить появление в знаменателе выражения (3.2) величин, близких к нулю, значения курсов, лежащих в пределах от 0^0 до 45^0 , рассчитываются в соответствие с равенством (3.2), а при $45^0 < KK < 90^0$ для расчета

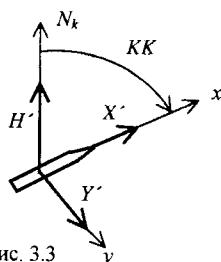


Рис. 3.3

используется обратное отношение

$$KK = \operatorname{arcctg} \frac{X'}{Y'}. \quad (3.3)$$

Таблица 3.1.

Указанный способ определения текущего курса судна не является единственно возможным, однако его несомненным достоинством является то, что он исключает влияние на полученный результат таких факторов, как вариации напряжения питания феррозондов, нестабильность их характеристик, колебания температуры окружающей среды и т.п. Это происходит потому, что названные факторы оказывают влияние одновременно как на X' , так и на Y' .

Структурная схема, в соответствие с которой вырабатывается информация о курсе судна, представлена на рис. 3.4. Феррозонды с ортогональным расположением осей чувствительности, входящие в комплект ИД 1, выдают значения X' и Y' в виде напряжений постоянного тока, которые через коммутатор 2 последовательно подключаются к входу аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 3.

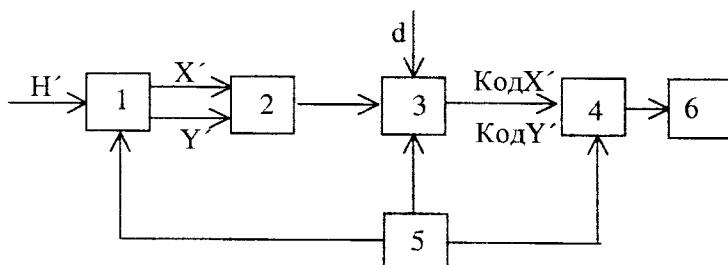


Рис. 3.4

После их преобразования в цифровые коды, последние поступают в вычислитель 4. В вычислителе, как это уже было описано выше, рассчитывается значение KK и одновременно модуль вектора

$$H' = \sqrt{(X')^2 + (Y')^2}. \quad (3.4)$$

3.1. Принцип действия индукционного магнитного компаса

Значения H' используются для определения поправок МК, знание которых позволяет вычислить магнитный курс MK судна:

$$MK = \arctg \frac{Y' + \Delta Y}{X' + \Delta X} \text{ или } MK = \arcctg \frac{X' + \Delta X}{Y' + \Delta Y}. \quad (3.5)$$

Компас может указывать и истинный курс IK судна, измеренный относительно географического меридиана. Для этого в него следует ввести информацию о текущем значении магнитного склонения d , снятую с карты.

$$IK = MK + d. \quad (3.6)$$

Выходные сигналы отображаются устройствами индикации курса б. Генератор 5 вырабатывает напряжение возбуждения феррозондов и формирует тактовые импульсы для вычислителя.

Одним из существенных недостатков индукционных компасов рассматриваемого типа является наличие значительных погрешностей, возникающих в результате отклонения осей ИД от плоскости горизонта, которое имеет место в процессе качки судна. Поэтому эти компасы рекомендуется применять только на динамически устойчивых судах.

Во втором варианте выполнения индукционных компасов, как правило, используются трехкомпонентные ИД, которые монтируются в корпус без карданового подвеса и остаются все время неподвижными относительно него. Это упрощает конструкцию датчика, но для определения курса судна требуется информация о пространственной его ориентации. Указанная информация получается с помощью трех акселерометров с взаимно ортогональными осями чувствительности, совпадающими по направлению с осями $oxuz$ (рис. 3.5) феррозондов и судна. В то время как ИД вырабатывает информацию о компонентах X' , Y' и Z' судового магнитного поля, акселерометры измеряют проекции g_x , g_y и g_z вектора ускорения силы тяжести Земли на судовые оси. Из рис. 3.5 легко заметить, что

$$g_y = g \sin \psi, \text{ а } g_z = g \cos \psi \cos \theta. \quad (3.7)$$

Учитывая, что углы θ дифферента судна обычно невелики, можно приближенно считать, что

$$g_z = g \cos \psi. \quad (3.8)$$

Тогда выражение для определения угла ψ может быть записано в следующем виде:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{g_y}{g_z}. \quad (3.9)$$

Можно также заметить, что

$$g_x = -g \cos \psi \sin \theta, \quad (3.10)$$

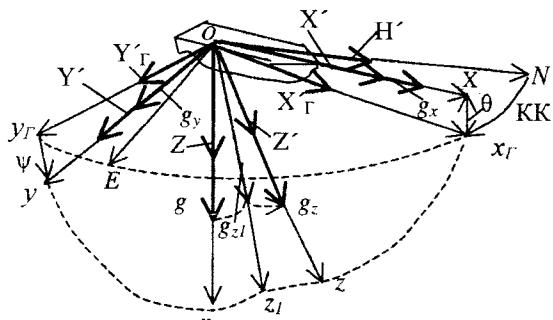


Рис. 3.5

и величина угла θ может быть найдена из следующего соотношения:

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{-g_x}{g_z}. \quad (3.11)$$

Используя значения полученных углов, можно рассчитать горизонтальные составляющие судового магнитного поля:

$$X'_\Gamma = X' \cos \theta + Z' \sin \theta, \quad Y'_\Gamma = Y' \cos \psi - Z' \cos \theta \sin \psi, \quad (3.12)$$

а также модуль вектора

$$H' = \sqrt{(X'_\Gamma)^2 + (Y'_\Gamma)^2} \quad (3.13)$$

и его направление относительно диаметральной плоскости судна:

$$-KK = \operatorname{arctg} \frac{Y'_\Gamma}{X'_\Gamma}. \quad (3.14)$$

Блок схема бескарданового индукционного компаса показана на рис. 3.6. Аналогично цифровые преобразователи (АЦП) преобразуют выходные напряжения ИД и акселерометров в цифровой код, используя который вычислитель В в соответствии с выражением (3.14) рассчитывает компасный курс KK судна. Как и в кардановом индукционном компасе имеется возможность для оценки поправок ΔY и ΔX компаса и последующего вычисления магнитного курса MK судна, используя следующее равенство:

$$MK = \operatorname{arctg} \frac{-(Y'_\Gamma + \Delta Y)}{X'_\Gamma + \Delta X}. \quad (3.15)$$

3.2. Краткая характеристика индукционных компасов

Можно также учесть магнитное склонение и вычислить истинный курс *ИК* судна. Достоинством рассмотренной схемы прибора является относительно ма-

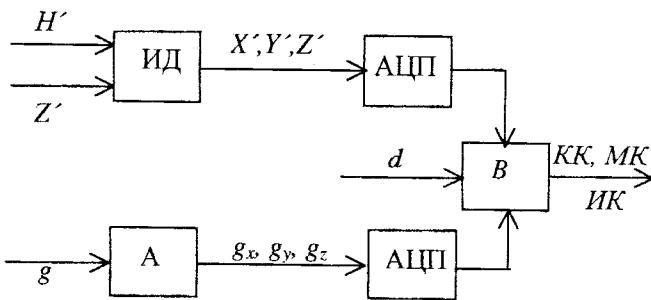


Рис. 3.6

лая зависимость его показаний от условий плавания.

3.2. Краткая характеристика индукционных компасов

В настоящее время индукционные компасы должны соответствовать стандарту ISO 11606 “Суда и морская технология. Морские электромагнитные компасы”. Основными требованиями этого стандарта сводятся к необходимости обеспечения погрешности измерения курса судна, не превышающей $0,5^0$, отображению информации на индикаторах, аналогичных по виду шкале картушки стрелочного компаса и к обеспечению выдачи текущих значений курса другим потребителям.

Основные технические характеристики некоторых образцов индукционных компасов приведены в приложении П.4. В дополнение к указанному приложению отметим отдельные особенности, присущие рассматриваемым образцам.

Отечественный компас “Аврал” [4] включает в свой комплект датчик курса индукционный (ДКИ), прибор измерительный (ПИ), прибор вычисления и индикации (ВИ) и цифровой выносной репитер (ЦВР). В приборе ДКИ содержатся три ортогональных линейных феррозонда, два из которых горизонтируются физическим маятником, помещенным в карданов подвес. Прибор снабжен компенсаторами девиации, состоящими из трех пар ортогональных квадратных катушек Гельмгольца и двух подвижных компенсаторов, выполненных в виде прямоугольного и цилиндрического брусков из магнитомягких материалов.

В приборе *ПИ* находится усилитель сигналов феррозондов и фильтр для выделения полезной гармонической составляющей сигналов. Структурная схема каждого из трех датчиков, образуемых при поочередном подключении феррозондов к усилителю и фильтру, соответствует рис. 2.4.

Прибор *ВИ* выполняет следующие функции:

- вырабатывает команды для поочередного подключения феррозондов к аналого-цифровому преобразователю;
- преобразует полезные сигналы из аналогового вида в цифровой;
- выполняет расчет компасного курса;
- вычисляет параметры остаточной девиации и вводит поправки в значения компасного курса судна, т.е. вырабатывает магнитный курс;
- формирует питающие напряжения для прибора *ПИ*;
- формирует токи питания обмоток ЭМК;
- индицирует рассчитанные значения курса на цифровом табло (на этом же табло могут индицироваться значения X' , Y' , Z' составляющих индукции внешнего поля в области прибора *ДКИ* и значения вводимого склонения);
- содержит встроенный аккумулятор для обеспечения компаса электропитанием в аварийной ситуации при отсутствии питания от судовой сети;
- при наличии на судне навигационного комплекса (НК) обеспечивает обмен информацией с НК, получая от него эталонное значение истинного курса и передавая в НК значение истинного курса, вырабатываемого компасом, в случае отказов гирокурсоуказателей, входящих в НК.

Четырехзначное табло прибора *ЦБР* повторяет информацию, индицируемую на табло прибора *ВИ*. При обработке информации в приборе *ВИ* может быть осуществлено осреднение показаний компаса.

Недостатком компаса является отображение информации прибором *ЦБР* в цифровой, а не в аналоговой форме, что не соответствует стандарту ISO 11606.

Компас *ДС – 83 “Горизонт”* относится к бескардановым индукционным компасам. В его комплект входят измерительный прибор (датчик исходной информации), прибор штурмана, репитер путевой и репитер с пеленгатором.

3.2. Краткая характеристика индукционных компасов

В измерительном приборе установлены трехкомпонентный ИД и три акселерометра с взаимно ортогональными осями.

В приборе штурмана находится микропроцессор, решающий задачи вычисления углов качки и компасного курса в соответствии с равенствами (3.9, 3.11, 3.14). После переключения прибора в режим “калибровка” и выполнения судном циркуляции микропроцессор решает задачу вычисления поправок к компасному судну и учитывает их в выражении (3.15), определяя, тем самым, магнитный курс судна. К значению магнитного курса можно, пользуясь клавиатурой прибора, добавить магнитное склонение и получить на трехзначном цифровом табло прибора значение истинного курса с дискретностью 1^0 . В случае фиксации штурманом значения генерального курса, засвечиваются, расположенные на передней панели, светодиодные указатели отклонения судна от заданного курса.

По желанию оператора индицируемые значения курса заменяются значениями углов килевой или бортовой качки. Непосредственно после включения компаса осуществляется его тестирование, результаты которого также индицируются на передней панели прибора.

Компас не имеет компенсаторов девиации.

К недостаткам прибора можно отнести:

- размещение в одном корпусе ИД и акселерометров, что приводит к повышенному влиянию на показания компаса ускорений, порождаемых качкой судна, в силу того, что измерительный прибор, как правило, располагается достаточно далеко от центра качаний;
- отсутствие компенсации и учета креновой девиации, что в определенных условиях может приводить к появлению недопустимых ошибок определения курса судна [4];
- отсутствие алгоритма адаптации компаса к изменению напряженности магнитного поля Земли, что затрудняет использование изделия в высоких широтах;
- отсутствие встроенного в прибор резервного источника питания, что исключает возможность использования компаса при отключении питания от бортовой сети.

Наиболее типичным представителем зарубежных кардановых индукционных компасов является изделие VDO Navpak фирмы VDO Великобритания. Оно состоит из трех приборов: датчика с кольцевым двухкомпонентным феррорезондом, электронного блока и блока индикации с цифровым табло. Компас обеспечивает:

- индикацию истинного курса после ввода склонения;
- осреднение значений курса при качке судна;
- индикацию среднего значения курса за длительный период времени при работе совместно с лагом;
- индикацию отклонений от заданного курса и индикацию качества учета девиации.

Малое быстродействие реализации алгоритма учета девиации микропроцессором ограничивает максимальную скорость циркуляции значениями до $2^{\circ}/\text{с}$.

Достоинством компаса является его адаптация к значительным изменениям горизонтальной составляющей внешнего магнитного поля - от 24 А/м (условия магнитного экватора) до 4,8 А/м (условия географического полюса). Обращает на себя внимание и конструкция датчика, состоящая, кроме осей карданова подвеса и деталей феррорезонда, исключительно из пластмассовых деталей.

К недостаткам компаса можно отнести:

- потерю работоспособности не только при отсутствии электропитания, но и при снижении напряжения питания более, чем на 25% от номинального значения;
- увеличение погрешности компаса до $\pm 5^{\circ}$ при наклонах датчика на $\pm 15^{\circ}$, что объясняется наличием люфтов в подшипниках скольжения карданова подвеса;
- индикация значений курса на цифровом табло, что не соответствует стандарту ISO 11606.

Типичным представителем бескардановых зарубежных компасов является изделие "Magtronic" разработанный американской фирмой Ritchie & Sons Inc. Компас рассчитан на любые классы судов и по своему устройству аналогичен отечественному компасу ДС-83. Прибор комплектуется цифровыми

3.2. Краткая характеристика индукционных компасов

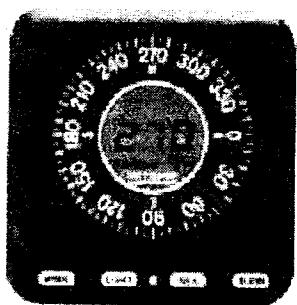


Рис.3.7

курс судна, но и отклонение судна от заданного курса (шкала 1).

Кроме дисплея в комплект компаса входит индукционный датчик (рис. 3.9) и блок электроники.

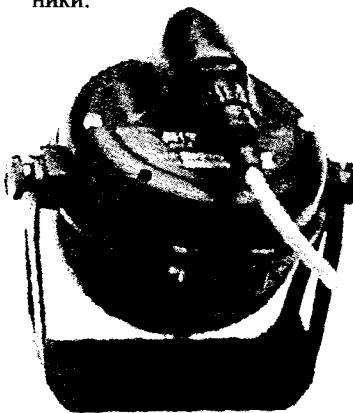


Рис.3.9

В приборе осуществляется автоматическая компенсация влияния на его показания судового магнитного поля.

К недостаткам компаса следует отнести его неработоспособность при перерывах электропитания.

3.3. Погрешности индукционных компасов

Основные погрешности индукционного магнитного компаса обусловлены:

жидкокристаллическими и цифроаналоговыми дисплеями. Внешний вид последнего представлен на рис. 3.7. Диаметр шкалы цифроаналогового дисплея составляет 8,9 см. Диаметр цифрового дисплея, расположенного внутри шкалы равен 4,4 см.

Цена деления цифровых дисплеев (рис. 3.8) составляет 1° . На этом дисплее отображается не только

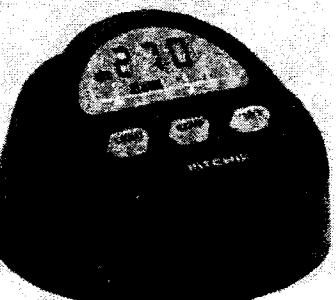


Рис.3.8

Компас имеет выходы для связи с внешними потребителями информации такими как радары, авторулевые, прокладчики курса и т.п. Управление компасом кнопочное. Каждая кнопка выполняет одну определенную операцию. Для обеспечения устойчивости показаний компаса в различных условиях плавания компас имеет 6 уровней фильтрации выходного сигнала.

В приборе осуществляется автоматическая

компенсация влияния на его показания судового магнитного поля.

- наличием не скомпенсированного судового магнитного поля;
- влиянием качки судна;
- ошибками систем дистанционной передачи информации;
- инструментальными ошибками;
- неточностью ориентации индукционного датчика относительно диаметральной плоскости судна.

Влияние не скомпенсированного судового магнитного поля будет подробно рассмотрено в последующих разделах.

В результате качки судна, даже при наличии маятниковой стабилизации, индукционный датчик отклоняется от плоскости горизонта, и на него начинает оказывать влияние вертикальная составляющая судового магнитного поля. Это приводит к появлению периодической составляющей погрешности компаса, которая может затруднять съём показаний. С целью уменьшения влияния этой погрешности производится осреднение мгновенных значений курса судна за определённый промежуток времени.

В том случае, если ИД не стабилизирован, на показания акселерометров оказывает влияние не только поле силы тяжести Земли, но и ускорения качки судна, которые в силу несовершенства алгоритмов вычисления и неточности информации о параметрах этих ускорений не могут быть полностью учтены в процессе расчета текущего курса судна.

Ошибки системы дистанционной передачи и инструментальные ошибки являются пренебрежимо малыми по сравнению с влиянием судового магнитного поля.

Ошибки из-за неточности ориентации чувствительного элемента компаса и репитеров для пеленгования обычно не превышают $0,2^\circ$.



3.1. Какую задачу решает феррозонд?

3.2. Для чего в индукционных компасах применяются акселерометры?

3.3. Какие достоинства у кольцевых феррозондов по сравнению со стержневыми?

3.4. Почему качка вызывает появление погрешности у кардановых индукционных компасов?

3.5. Какие достоинства у индукционных компасов по сравнению со стрелочными?

3.6. Почему при качке судна снижается точность показаний бескарданового индукционного компаса?

Глава 4

ДЕВИАЦИЯ МАГНИТНОГО КОМПАСА

4.1. Общая характеристика судового магнитного поля

Судовое магнитное поле образуется в результате сложения земного магнитного поля с собственным полем судна (более подробно о параметрах магнитного поля см. в приложении П1 и П2). Последнее возникает за счёт наличия на его борту ферромагнитных материалов, в качестве которых выступают элементы конструкции судна, силовая установка и перевозимый на судне груз. Эти материалы могут иметь *заметную остаточную намагниченность*, приобретённую в результате воздействия на них достаточно сильных магнитных полей и сохраняемую практически неизменной впоследствии. Такие материалы получили название *магнитотвёрдых* (см. П2). *Поле, создаваемое магнитотвёрдыми материалами, остаётся неизменно ориентированным относительно судна и практически не зависит от параметров земного магнетизма.*

 Важно! *Поле, создаваемое магнитотвёрдыми материалами, остаётся неизменно ориентированным относительно судна и практически не зависит от параметров земного магнетизма.*

Наряду с указанными, на судне имеются *магнитомягкие* материалы, которые намагничиваются как земным магнитным полем, так и полем судовых магнитотвёрдых материалов. Последние, обладая неизменно ориентированным относительно судна полем, намагничивают магнитомягкие материалы таким образом, что они создают также неизменно ориентированные относительно судна составляющие поля. Это дает возможность условно включать указанные составляющие в поле, создаваемое магнитотвёрдыми материалами.

Картина выглядит иначе, если магнитомягкие материалы намагничиваются компонентами магнитного поля Земли. Будем представлять судовое и земное магнитные поля в виде соответствующих составляющих X', Y', Z' и X, Y, Z (рис. 4.1) векторов напряженности (или индукции) этих полей по осям системы координат $oxuz$, жёстко связанной с судном. Особенности намагничивания магнитомягких материалов земным магнитным полем заключается в том, что



Важно!

Они будучи намагнченными одной из компонент этого поля, например компонентой X , создают свое поле, имеющее, в общем случае, все три компоненты, величины которых пропорциональны намагничивающему полю.

Таким образом, при намагничивании материала компонентой X сам намагнченный материал создаёт поле, имеющее составляющие aX , dX и gX , направленные по осям ox , oy и oz , соответственно (рис. 4.1). Здесь a , d и g – коэффициенты пропорциональности, определяющие величину указанных составляющих в долях намагничивающего поля. Аналогично, материал, намагнченный составляющей Y земного поля, будет создавать собственное поле с компонентами bY , eY и hY , а намагнченный составляющей Z – с компонентами cZ , fZ и kZ .

Учитывая сказанное, результирующие напряженности судового магнитного поля вдоль осей, связанных с судном, можно представить в виде следующих равенств (рис. 1.33):

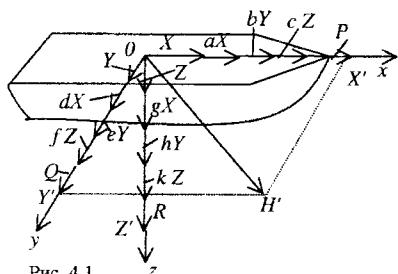


Рис. 4.1

$$\begin{aligned} X' &= X + aX + bY + cZ + P, \\ Y' &= Y + dX + eY + fZ + Q, \end{aligned} \quad (4.1)$$

$Z' = Z + gX + hY + kZ + R$,
где H , Q и R – компоненты магнитного поля, порождаемые постоянным судовым магнетизмом. Уравнения (4.1) получили название *уравнений Пуассона*, а коэффициенты $a \dots k$ – *коэффициентов Пуассона*. Полученные уравнения характеризуют структуру судового магнитного поля и являются исходными для проведения различных оценок на практике. Однако для процесса судовождения основной интерес представляет связь параметров судового поля с ошибками МК, т.е. с той девиацией, которая возникает у компаса, установленного в заданном месте на судне. Эта девиация определяется отклонением от плоскости магнитного меридиана горизонтальной составляющей H' (рис. 4.1) судового магнитного поля, образуемой геометрической суммой векторов X' и

Y' .

4.1. Общая характеристика судового магнитного поля

Y' , в направлении которой устанавливаются оси магнитов картишки компаса. Найдём соотношения, определяющие указанную связь.

4.2 Уравнение девиации

Рассмотрим рис. 4.2, отображающий взаимную ориентацию векторов судового и земного магнитных полей.

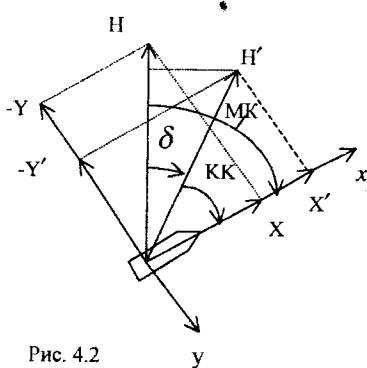


Рис. 4.2

Как следует из рисунка, девиация δ магнитного компаса, равная разности магнитного MK и компасного KK курсов судна

$$\delta = MK - KK, \quad (4.2)$$

может быть определена следующим равенством:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{H' \sin \delta}{H' \cos \delta}. \quad (4.3)$$

В свою очередь, из рисунка следует, что

$$H' \sin \delta = X' \sin MK + Y' \cos MK, \quad \text{а} \quad H' \cos \delta = X' \cos MK - Y' \sin MK. \quad (4.4)$$

Подставляя в полученные равенства значения X' и Y' из уравнений Пуассона (4.1), найдём:

$$\begin{aligned} H' \sin \delta &= [(1+a)X + bY + cZ + P] \sin MK + [(1+e)Y + dX + fZ + Q] \cos MK, \\ H' \cos \delta &= [(1+a)X + bY + cZ + P] \cos MK - [(1+e)Y + dX + fZ + Q] \sin MK. \end{aligned} \quad (4.5)$$

В последних равенствах учтём, что

$$X = H \cos MK, \quad Y = -H \sin MK. \quad (4.6)$$

Тогда получим:

$$\begin{aligned} H' \sin \delta &= H \left[(1+a) \cos MK - b \sin MK + \frac{cZ + P}{H} \right] \sin MK + \\ &+ H \left[-(1+e) \sin MK + d \cos MK + \frac{fZ + Q}{H} \right] \cos MK, \\ H' \cos \delta &= H \left[(1+a) \cos MK - b \sin MK + \frac{cZ + P}{H} \right] \cos MK + \\ &+ H \left[(1+e) \sin MK - d \cos MK - \frac{fZ + Q}{H} \right] \sin MK. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Раскрывая квадратные скобки равенств (4.7), найдём:

$$\begin{aligned} \frac{H' \sin \delta}{H} &= \frac{1+a}{2} \sin 2MK - \frac{b}{2}(1-\cos 2MK) + \frac{cZ+P}{H} \sin MK - \\ &- \frac{1+e}{2} \sin 2MK + \frac{d}{2}(1+\cos 2MK) + \frac{fZ+Q}{H} \cos MK, \\ \frac{H' \cos \delta}{H} &= \frac{1+a}{2}(1+\cos 2MK) - \frac{b}{2} \sin 2MK + \frac{cZ+P}{H} \cos MK + \\ &+ \frac{1+e}{2}(1-\cos 2MK) - \frac{d}{2} \sin 2MK - \frac{fZ+Q}{H} \sin MK. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Группируя члены по гармоникам, будем иметь:

$$\begin{aligned} \frac{H' \sin \delta}{H} &= \frac{d-b}{2} + \frac{cZ+P}{H} \sin MK + \frac{fZ+Q}{H} \cos MK + \\ &+ \frac{a-e}{2} \sin 2MK + \frac{d+b}{2} \cos 2MK, \\ \frac{H' \cos \delta}{H} &= 1 + \frac{a+e}{2} + \frac{cZ+P}{H} \cos MK - \frac{fZ+Q}{H} \sin MK + \\ &+ \frac{a-e}{2} \cos 2MK - \frac{d+b}{2} \sin 2MK. \end{aligned} \quad (4.9)$$

Обозначим $1 + \frac{a+e}{2} = \lambda$ и поделим левые и правые части равенств (4.9) на λ . В результате получим:

$$\begin{aligned} \frac{H' \sin \delta}{\lambda H} &= \frac{d-b}{2\lambda} + \frac{cZ+P}{\lambda H} \sin MK + \frac{fZ+Q}{\lambda H} \cos MK + \\ &+ \frac{a-e}{2\lambda} \sin 2MK + \frac{d+b}{2\lambda} \cos 2MK, \\ \frac{H' \cos \delta}{\lambda H} &= 1 + \frac{cZ+P}{\lambda H} \cos MK - \frac{fZ+Q}{\lambda H} \sin MK + \\ &+ \frac{a-e}{2\lambda} \cos 2MK - \frac{d+b}{2\lambda} \sin 2MK. \end{aligned} \quad (4.10)$$

Введём следующие обозначения:

$$\frac{d-b}{2\lambda} = A', \frac{cZ+P}{\lambda H} = B', \frac{fZ+Q}{\lambda H} = C', \frac{a-e}{2\lambda} = D', \frac{d+b}{2\lambda} = E' \quad (4.11)$$

и подставим их в равенства (4.10). В результате будем иметь:

$$\begin{aligned} \frac{H' \sin \delta}{\lambda H} &= A' + B' \sin MK + C' \cos MK + D' \sin 2MK + E' \cos 2MK, \\ \frac{H' \cos \delta}{\lambda H} &= 1 + B' \cos MK - C' \sin MK + D' \cos 2MK - E' \sin 2MK. \end{aligned} \quad (4.12)$$

4.2. Уравнение девиации

Поделив первое равенство (4.12) на второе, получим искомое выражение для тангенса девиации магнитного компаса:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{A' + B' \sin MK + C' \cos MK + D' \sin 2MK + E' \cos 2MK}{1 + B' \cos MK - C' \sin MK + D' \cos 2MK - E' \sin 2MK}. \quad (4.13)$$

Это выражение получило название формулы Арчибальда Смита по имени английского учёного XIX века. Оно определяет зависимость девиации MK от параметров $A' \dots E'$ и магнитных курсов судна. Параметры $A' \dots E'$ получили название коэффициентов девиации.

На практике чаще представляют девиацию MK в функции компасных курсов судна [5]. Для того чтобы получить указанное выражение умножим равенство (4.13) на его знаменатель. В результате будем иметь:

$$\begin{aligned} \sin \delta (1 + B' \cos MK - C' \sin MK + D' \cos 2MK - E' \sin 2MK) &= \\ (A' + B' \sin MK + C' \cos MK + D' \sin 2MK + E' \cos 2MK) \cos \delta. & \end{aligned} \quad (4.14)$$

Раскрывая скобки и перенося все члены кроме первого в правую часть равенства, найдём:

$$\begin{aligned} \sin \delta &= A' \cos \delta + B' (\sin MK \cos \delta - \cos MK \sin \delta) + \\ &+ C' (\cos MK \cos \delta + \sin MK \sin \delta) + D' (\sin 2MK \cos \delta - \cos 2MK \sin \delta) + E' (\cos 2MK \cos \delta + \sin 2MK \sin \delta). \end{aligned} \quad (4.15)$$

Учитывая, что $KK = MK - \delta$, а $2MK - \delta = 2KK + \delta$, окончательно получим выражение для синуса девиации магнитного компаса как функцию компасных курсов судна:

$$\begin{aligned} \sin \delta &= A' \cos \delta + B' \sin KK + C' \cos KK + D' \sin (2KK + \delta) + \\ &+ E' \cos (2KK + \delta) \end{aligned} \quad (4.16)$$

Таким образом, определены выражения, характеризующие закон изменения девиации MK и позволяющие дать её численную оценку в различных условиях плавания. Большее распространение для решения указанной задачи получило равенство (4.16). Однако, какое бы равенство не использовалось при выполнении оценок, следует иметь в виду (см. соотношения 4.11), что

коэффициенты девиации A', D' и E' практически не зависят от места судна, а коэффициенты B' и C' изменяются с изменением широты места судна, так как от указанного па-



Важно!

раметра зависит горизонтальная составляющая H напряжённости магнитного поля Земли. Из тех же выражений видно, что коэффициенты девиации не зависят от курса судна.

4.3 Судовые магнитные силы

Результирующий вектор горизонтальной составляющей напряженности судового магнитного поля в районе картушки магнитного компаса удобно представлять его отдельными компонентами, которые получили название *судовых магнитных сил* (СМС). Состав этих сил и их взаимную ориентацию можно определить, используя равенства (4.12), в которых левые и правые их части следуют умножить на λH . В результате будем иметь:

$$\begin{aligned} H' \cos \delta &= \lambda H + B' \lambda H \cos MK - C' \lambda H \sin MK + \\ &+ D' \lambda H \cos 2MK - E' \lambda H \sin 2MK, \\ H' \sin \delta &= A' \lambda H + B' \lambda H \sin MK + C' \lambda H \cos MK + \\ &+ D' \lambda H \sin 2MK + E' \lambda H \cos 2MK. \end{aligned} \quad (4.17)$$

Искомыми судовыми магнитными силами являются коэффициенты $\lambda H, A' \lambda H \dots E' \lambda H$, входящие в полученное уравнение. Анализируя указанные коэффициенты, обратим внимание на то обстоятельство (см. равенства (4.9)), что СМС $\lambda H, A' \lambda H, D' \lambda H$ и $E' \lambda H$ зависят от параметров и рас-



Важно!

положения на судне **магнитомягких** материалов, а СМС $B' \lambda H$ и $C' \lambda H$ - как **магнитомягких**, так и **магнитотвёрдых**. Также нетрудно заметить, что первая группа СМС зависит от величины горизонтальной составляющей H напряженности магнитного поля Земли, в то время как вторая группа – от вертикальной составляющей Z . Все СМС не зависят от курса судна. Поскольку СМС представляют собой компоненты вектора напряжённости судового магнитного поля, они также являются векторными величинами.

Для определения ориентации СМС обратимся к равенствам (4.17). Будем условно полагать, что все СМС, кроме λH и $A' \lambda H$, равны нулю. В этом случае указанные равенства примут вид:

$$H' \cos \delta = \lambda H, \quad H' \sin \delta = A' \lambda H \quad (4.18)$$

Из них следует, что вектор λH равен проекции результирующего вектора H' напряжённости судового магнитного поля на направление магнитного меридиана (рис. 4.3), а вектор $A' \lambda H$ - на направление, перпендикулярное магнитному меридиану. При этом, если $\delta > 0$, то СМС $A' \lambda H$ ориентирована на Восток, в противном случае, как это показано штриховыми линиями, - на Запад. Очевидно, будучи направленной воль магнитного меридиана, СМС λH является полезной, стремящейся установить картушку магнитного компаса в

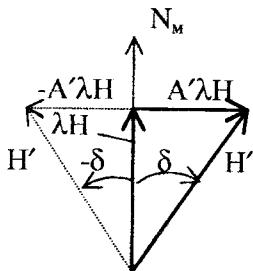


Рис.4.3

этот меридиан. Поэтому следует стремиться сделать коэффициент $\lambda \geq 1$.

Для того чтобы определить направление СМС $B' \lambda H$, будем условно считать, что в равенствах (4.17) все СМС, кроме λH и $B' \lambda H$, равны нулю. Тогда, указанные выражения примут вид:

$$H' \cos \delta = \lambda H + B' \lambda H \cos MK, \quad H' \sin \delta = B' \lambda H \sin MK. \quad (4.19)$$

Этим равенствам соответствует схема векторов, показанная на рис. 4.4. Из рисунка следует, что СМС $B' \lambda H$ направлена по курсу судна. Действительно, только в этом случае ее проекция на направление магнитного меридиана и на перпендикулярное к нему направление будет определяться выражениями (4.19).

Поступая аналогично, определим направление СМС $C' \lambda H$. Для этого будем полагать неравными нулю только силы λH и $C' \lambda H$. Тогда получим:

$$H' \cos \delta = \lambda H - C' \lambda H \sin MK, \quad H' \sin \delta = C' \lambda H \cos MK. \quad (4.20)$$

Схема векторов, соответствующая равенствам (4.20), имеет вид, показанный на рис. 4.5. Из рисунка следует, что СМС $C' \lambda H$ направлена под углом $90^\circ + MK$ по отношению к магнитному меридиану и, следовательно, перпендикулярно СМС $B' \lambda H$.

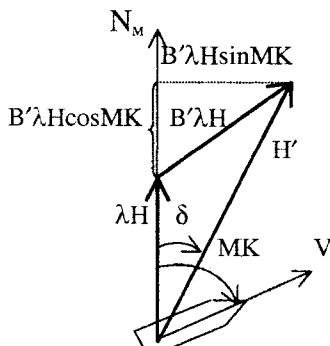


Рис.4.4

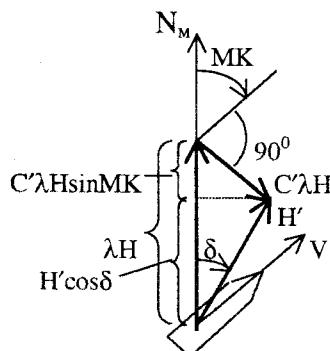


Рис.4.5

Учитывая, что выражения для $D'\lambda H$ и $E'\lambda H$ отличаются от рассмотренных только удвоенным значением MK , можно утверждать, что СМС $D'\lambda H$ направ-

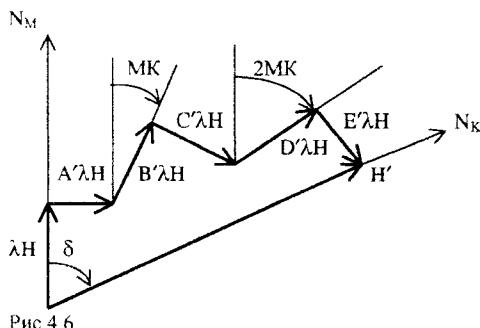


Рис.4.6

лена под углом $2MK$ к направлению магнитного меридиана, а СМС $E'\lambda H$ - под углом $2MK+90^\circ$ по отношению к магнитному меридиану или перпендикулярно судовой магнитной силе $D'\lambda H$.

Таким образом, в общем случае ориентация векторов судовых магнитных сил будет иметь вид, показанный на рис. 4.6. На этом рисунке N_k соответствует направлению компасного меридiana, в плоскости которого находится результирующий вектор H' напряжённости судового магнитного поля. Проектируя векторы СМС на направление компасного меридiana, найдём выражение, определяющее значение вектора H' :

$$H' = \lambda H \cos \delta + A' \lambda H \sin \delta + B' \lambda H \cos KK - C' \lambda H \sin KK + \\ + D' \lambda H \cos(2KK + \delta) - E' \lambda H \sin(2KK + \delta) \quad (4.21)$$

4.4 Девиация, порождаемая судовыми магнитными силами

Для определения характера девиации, порождаемой отдельными СМС, обратимся к равенству (4.16):

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

Если условно считать, что в этом равенстве все коэффициенты девиации кроме A' равны нулю, то оно примет вид:

$$\operatorname{tg} \delta_1 = A' \text{ и } \delta_1 = \operatorname{arctg} A' = A'. \quad (4.22)$$

Отсюда следует, что отклонение δ_1 картушки, порожданное судовой магнитной

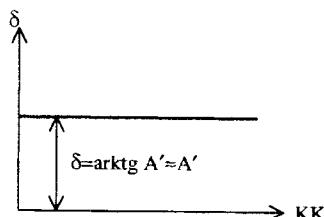


Рис. 4.7

силой $A' \lambda H$, не зависит от курса судна (рис. 4.7), а определяется только значением коэффициента девиации A' . Эта составляющая общего отклонения δ картушки МК получила название *круговой девиации*. При относительно малых значениях девиации,

что часто имеет место на практике, ее величину можно приближенно считать, как это следует из выражений (4.22), равной самому коэффициенту девиации.

В том случае, если имеет место только СМС $B' \lambda H$ или $C' \lambda H$, девиации, порождаемые ими будут определяться следующими выражениями:

$$\sin \delta_2 = B' \sin KK, \quad \sin \delta_3 = C' \cos KK. \quad (4.23)$$

При относительно малых значениях полученных девиаций можно приближенно считать, что $\delta_2 \approx B' \sin KK$, а $\delta_3 \approx C' \cos KK$. Эти составляющие девиации

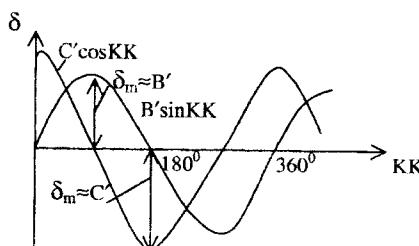


Рис. 4.8

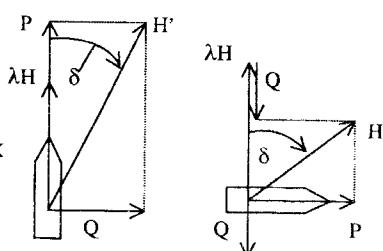


Рис. 4.9

магнитного компаса получили название *полукруговых*. Закон их изменения показан на рис. 4.8. Из рисунка видно, что амплитудные значения девиаций примерно равны самим коэффициентам девиации.

Физическая сущность полукруговой девиации легко объяснима. Действительно, если принять во внимание тот факт, что, в основном, она порождается полем, создаваемым магнитотвёрдыми материалами, и его компоненты P и Q не зависят от курса судна, то, как это следует из рис. 4.9, составляющая P будет вызывать максимальное отклонение картушки МК на курсах судна, равных 90° и 270° , когда она перпендикулярна вектору H напряжённости земного магнитного поля. На курсах 0° и 180° девиация будет равна нулю. В свою очередь, компонента Q будет максимально влиять на показания МК на курсах 0° и 180° .

Девиации, δ_4 и δ_5 , порождаемые СМС $D'\lambda H$ и $E'\lambda H$, по характеру аналогичны полукруговым, но имеют вдвое меньший период изменения:

$$\delta_4 = D' \sin(2KK + \delta_4), \quad \delta_5 = E' \cos(2KK + \delta_5) \quad (4.24)$$

Каждая из них получила название *четвертной девиации*. При относительно низких величинах δ_4 и δ_5 закон их изменения будет весьма близок к гармоническому, а амплитудные значения девиаций - практически равны коэффициентам D' и E' .

Наряду с рассмотренными составляющими, которые обусловлены влиянием поля, порожденного судовым железом, могут иметь место составляющие, порождаемые полями электрических цепей с постоянным током, а также качкой, креном и дифферентом судна. В первом случае девиация получила название *электромагнитной* и она может быть особенно заметной, если судно имеет обмотки размагничивания и они включены. Во втором случае девиация называется *креновой* и она обусловлена изменением параметров намагничивания судна при наличии крена, дифферента и качки. В определенных условиях на картушку может оказывать влияние и вертикальная составляющая магнитного поля Земли.

Рассмотрим более подробно сущность креновой девиации.

4.5 Креновая девиация магнитного компаса

Следует иметь в виду, что креновая девиация появляется как при наличии качки судна, так и при его движении со статическим креном и дифферентом. Количественная оценка девиации в первом случае или при наличии обеих факторов представляет определенную сложность. Это связано с тем, что в результате качки судна возникают силы инерции, которые действуют на картушку компаса, вынуждая ее совершать колебания не только в азимуте, но и относительно плоскости горизонта. В этих условиях на нее будет действовать вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли, что приведет к появлению дополнительных отклонений картушки от направления меридiana. В результате магнитный компас станет не только показывать курс судна с ошибкой, но и его картушка начнет совершать колебания относительно курсовой черты, затрудняя съем показаний.

Учитывая сказанное, на практике рассматривают более простой случай, когда в процессе движения судна картушка компаса не выходит из плоскости горизонта или ее отклонения пренебрежимо малы. Это может иметь место при наличии только статического крена и дифферента или когда ускорения, возникающие в результате качки, несущественны. В этом случае влиянием вертикальной составляющей магнитного поля Земли можно пренебречь и девиацию

рассматривать лишь как результат изменения параметров намагниченности судна.

В описанных условиях становится очевидным допущение о малости углов крена и дифферента, что позволяет, в свою очередь, рассматривать их влияние независимо друг от друга.

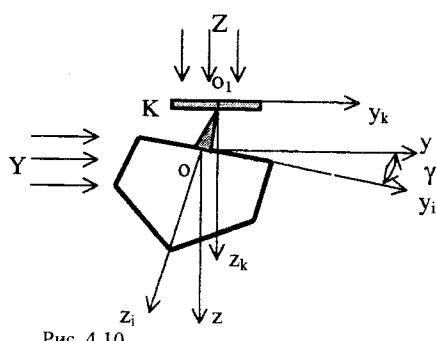


Рис. 4.10

Будем считать, что судно идет произвольным курсом и имеет некоторый установившийся крен γ (рис. 4.10).

Глава 4. Девиация магнитного компаса

Составляющие X'_i , Y'_i и Z'_i судового магнитного поля при наличии указанного крена будут определяться уравнениями Пуассона следующего вида:

$$\begin{aligned} X'_i &= X_i(1+a) + bY_i + cZ_i + P, \\ Y'_i &= dX_i + Y_i(1+e) + fZ_i + Q, \\ Z'_i &= gX_i + hY_i + Z_i(1+k) + R, \end{aligned} \quad (4.25)$$

где X_b , Y_b , Z_b - составляющие земного магнитного поля вдоль осей ox_i , oy_i , oz_i , $a...k$ - коэффициенты Пуассона, P , Q , R - составляющие судового магнитного поля, порождаемые магнитотвердыми материалами. Для компаса, установленного в диаметральной плоскости судна, коэффициенты b , d , f , и h пренебрежимо малы, и их можно опустить из рассмотрения. Не будем также учитывать коэффициенты c и g , как не оказывающие существенного влияния на полученные результаты. В этих условиях равенства (4.25) примут вид:

$$X'_i = X_i(1+a) + P, \quad Y'_i = Y_i(1+e) + Q, \quad Z'_i = Z_i(1+k) + R. \quad (4.26)$$

Выразим составляющие X_b , Y_b и Z_b через соответствующие компоненты X , Y и Z поля, намагничивающего судно:

$$X_i = X, \quad Y_i = Y \cos \gamma + Z \sin \gamma, \quad Z_i = Z \cos \gamma - Y \sin \gamma. \quad (4.27)$$

Подставляя равенства (4.27) в (4.26) найдем параметры судового поля при наличии крена судна:

$$\begin{aligned} X'_i &= X(1+a) + P, \quad Y'_i = (Y \cos \gamma + Z \sin \gamma)(1+e) + Q, \\ Z'_i &= (Z \cos \gamma - Y \sin \gamma)(1+k) + R. \end{aligned} \quad (4.28)$$

Для оценки влияния полученных составляющих судового магнитного поля на картушку магнитного компаса спроектируем их на оси ox_k и oy_k , связанные с ней. Проекция на ось ox_k , очевидно, не будет представлять интереса, так как эта составляющая не может отклонять картушку в силу того, что ось ox_k перпендикулярна ее плоскости.

$$\begin{aligned} X'_k &= X(1+a) + P, \quad Y'_k = Y'_i \cos \gamma - Z'_i \sin \gamma = [0,5Y(1+\cos 2\gamma) + \\ &+ 0,5Z \sin 2\gamma](1+e) + Q \cos \gamma - [0,5Z \sin 2\gamma - 0,5Y(1-\cos 2\gamma)](1+k) - \\ &- R \sin 2\gamma. \end{aligned} \quad (4.29)$$

Раскрывая скобки и группируя члены по гармоникам, найдем:

$$\begin{aligned} X'_k &= X(1+a) + P, \\ Y'_k &= (1 + \frac{e+k}{2})Y + Q \cos \gamma - R \sin \gamma + Z \frac{e-k}{2} \sin 2\gamma + Y \frac{e-k}{2} \cos 2\gamma. \end{aligned} \quad (4.30)$$

4.5. Креновая девиация магнитного компаса

Из полученных выражений следует, что крен судна вызывает изменение только поперечной составляющей напряженности судового магнитного поля, которая, в свою очередь, порождает дополнительную девиацию магнитного компаса. Очевидно, что при наличии угла θ дифферента судна дополнительную погрешность магнитного компаса будет вызывать ее продольная составляющая. По аналогии с равенствами (4.30) эта составляющая будет определяться следующим соотношением:

$$X'_k = \left(1 + \frac{a+k}{2}\right)X + P\cos\theta - R\sin\theta + \frac{a-k}{2}Z\sin2\theta + \frac{a-k}{2}X\cos2\theta. \quad (4.31)$$

Если имеет место и крен и дифферент судна, обе составляющие будут порождать девиацию компаса, которая является достаточно сложной функцией данных углов и зависит от курса судна.

4.6 Определение девиации магнитного компаса

Текущую девиацию магнитного компаса можно оценить различными способами. Наиболее часто девиация определяется:

- путем сличения показаний магнитного и гирокопического компасов,
- путем пеленгования удаленного предмета или створа,
- по вееру створов,
- по пеленгам небесных светил.

Задача определения девиации сводится к сравнению значений компасного курса KK судна или компасного пеленга $KП$ (обратного компасного пеленга $OKП$), снятых с магнитного компаса, с магнитным курсом MK или магнитным пеленгом $MП$ (обратным магнитным пеленгом $OMП$), полученными иными путями и считающимися эталонными:

$$\delta = MП - KП, \quad \delta = OMП - OKП, \quad \delta = MK - KK. \quad (4.32)$$

Перед определением девиации [5] все судовые устройства должны быть закреплены по-походному. Если вблизи магнитного компаса расположены ферромагнитные устройства и предметы, положение которых во время рейса может изменяться (антенна РЛС, прожектор, стальная дверь и т.д.), об этом следует

сделать специальную оговорку в таблице девиации, указав то положение названных устройств, в каком они находились во время определения девиации.

В кармане девиатора или штурмана, проводящего работы, не должно быть никаких ферромагнитных предметов. Определение девиации следует выполнять на малых ходах судна, приступая к наблюдениям через 2-3 минуты после окончания его маневра. Отсчет с компаса следует снимать с погрешностью, не превышающей $0,2^{\circ}$. На каждом курсе следует снимать 3-5 наблюдений с последующим осреднением полученных результатов.

Наиболее просто определять девиацию магнитного компаса путем сличения его показаний KK с показаниями гирокомпаса. Для этого следует гирокомпасный курс GK исправить поправкой гирокомпаса ΔGK и учесть значение магнитного склонения d для данного места судна:

$$\delta = GK - KK + (\Delta GK - d). \quad (4.33)$$

Однако, поправка гирокомпаса при маневрировании судна, как правило, не постоянна. Степень ее разброса зависит от параметров маневра. Для уменьшения степени нестабильности ΔGK отсчеты следует снимать при изменениях курса на $10 - 15$ градусов.

Для определения девиации способом пеленгования следует найти значение магнитного пеленга на тот или иной ориентир. В том случае, если с судна можно наблюдать створ, истинный пеленг которого известен или может быть снят с карты, то задача предельно упрощается. В этом случае следует только измерить компасный пеленг на створ при пересечении его линии под требуемым курсом и сравнить его с магнитным пеленгом створа, который определяется как разность истинного пеленга и магнитного склонения в данной точке.

В том случае, когда пеленгуется единичный ориентир, значение магнитного пеленга может быть определено путем вычисления среднего значения восьми компасных пеленгов, снятых на курсах $0^{\circ}, 45^{\circ} \dots 315^{\circ}$. Дело здесь в том, что все составляющие девиации магнитного компаса, кроме круговой, являются периодическими функциями курса судна. Поэтому при изменении курса на 360° их среднее значение будет равно нулю и магнитный пеленг будет определен с

4.6. Определение девиации магнитного компаса

точностью до значения круговой девиации. На практике величина круговой девиации относительно не велика, поэтому значение магнитного пеленга на ориентир определяется с приемлемой точностью. Если же круговая девиация достаточно большая, то ее можно приближенно учесть, выбрав величину коэффициента девиации A из предыдущей таблицы остаточной девиации и воспользоваться следующим равенством [5]:

$$MP = \frac{\sum_{i=1}^8 K_i I_i}{8} + A . \quad (4.36)$$

При пеленговании отдаленного ориентира следует иметь в виду, что зна-

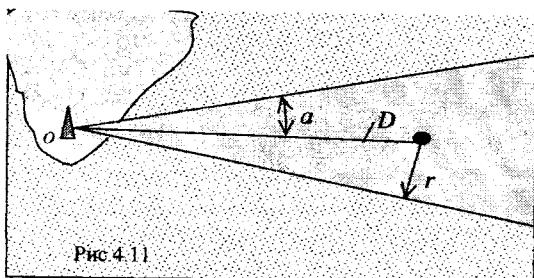


Рис 4.11

чение пеленга зависит от места судна. Поэтому необходимо пеленговать ориентир, по возможности, из точек, принадлежащих одной и той же линии визирования оD (Рис. 4.11). Если угол α

определяет допустимую погрешность пеленгования, то очевидно в момент пеленгования судно должно находиться в затененном секторе. Допустимое линейное отклонение r судна от линии визирования определяется следующим равенством: $r = \alpha D$, где α следует подставлять в радианах. Точку пеленгования удобно определять по данным спутникового приемоиндикатора.

Оценка девиации при наличии веера створов аналогична ее определению по одному створу. Однако, в рассматриваемом случае экономится время на проведение измерений за счет уменьшения количества маневров, а также повышается точность измерений.

В открытом море для определения девиации можно пеленговать небесные светила. Это лучше делать тогда, когда высота пеленгуемых светил невелика.



- 4.1. Какой составляющей земного магнитного поля намагнчен материал, образующий компоненты gX , bY , fZ и Q судового магнитного поля? По каким осям направлены эти составляющие?
- 4.2. Какие коэффициенты девиации зависят от широты места судна?
- 4.3. Судно изменило курс на 20° . На сколько градусов изменят свое направление судовые магнитные силы?
- 4.4. Что определяет угол, заключенный между магнитным и компасным меридианами?
- 4.5. Какими материалами в магнитном отношении порождаются полукруговая и четвертная девиации МК?
- 4.6. Почему возникает девиация МК при наличии у судна дифферента?
- 4.7. Что следует учесть, если девиация МК определяется путем сличения его показаний с показаниями гирокомпаса?

Глава 5

УНИЧТОЖЕНИЕ ДЕВИАЦИИ МАГНИТНОГО КОМПАСА

5.1. Общие принципы уничтожения девиации

Уничтожение девиации МК осуществляется путем компенсации судовых магнитных сил, порождающих ее, магнитным полем, создаваемым постоянными магнитами, брусками и шарами из магнитомягких материалов, а также обмотками с током, располагаемыми определенным образом в районе картушки магнитного компаса. Такое разнообразие средств, используемых для компенсации судового магнитного поля, обусловлено тем, что в процессе перемещении судна в различные районы плавания параметры его поля претерпевают определенные изменения. Для того чтобы в этих условиях степень компенсации СМС оставалась постоянной, магнитные поля, создаваемые магнитомягкими материалами, устраняются компенсаторами, изготовленными из того же материала, который порождает эти поля, а для компенсации девиации от магнитотвердых материалов применяют постоянные магниты или обмотки с током. Обмотки с током также используются для устранения девиации, создаваемой средствами размагничивания судна. Иными словами, при проведении девиационных работ следуют правилу: что порождает девиацию, то и используется для ее компенсации, “клин” выбивают “клином”.

Как при определении девиации, так и при ее устраниении все судовые механизмы устанавливают по-походному. Девиаторы не должны иметь в карманах никаких ферромагнитных вещей, а вблизи компаса не должны находиться посторонние предметы, способные оказать влияние на результаты проводимых работ.

После выполнения указанных условий проводят проверку технического состояния МК и приборов, используемых для измерений, устраниют замеченные недостатки, осуществляют необходимые регулировки.

Девиационные работы завершаются составлением таблицы остаточной девиации магнитного компаса, которую используют в рейсе для оценки поправки МК.

5.2. Приборы, используемые для уничтожения девиации

При проведении девиационных работ в ряде случаев требуется измерение напряженности судового или земного магнитных полей, а также их магнитного наклонения. Для этого используются специальные приборы – *дефлектор* и *инклинометр*. Рассмотрим принцип действия и особенности устройства указанных приборов.

5.2.1. Принцип действия дефлектора

Дефлектор предназначен для измерения напряженности судового или земного магнитных полей, действующих на картишку МК. Измерение осуществляется компенсационным методом. Сущность метода заключается в том, что измеряемое магнитное поле уравновешивается полем, создаваемым магнитом или магнитами дефлектора и при достижении равенства этих полей с него снимается отсчет. Этот отсчет соответствует напряженности магнитного поля, созданного дефлектором, которая в данном случае равна измеряемой напряженности.

На практике используются два вида указанных приборов – дефлектор Колонга и дефлектор с равномерной шкалой. Принцип действия дефлектора Колонга заключается в следующем. Над картишкой 2 компаса (рис. 5.1) на некотором расстоянии r размещается постоянный магнит 1, с помощью которого путем его перемещения вверх или вниз осуществляется компенсация измеряемого магнитного поля. Дефлектор имеет также вспомогательный магнит 3, ось которого перпендикулярна оси компенсационного магнита. Указанный магнит позволяет определить момент полной взаимной компенсации полей. Действительно, картишка магнитного компаса находится под воздействием трех полей: измеряемого, компенсационного и вспомогательного магнитов.

Под действием этих полей она отклоняется от направления меридиана на угол α , который определяется следующим равенством:

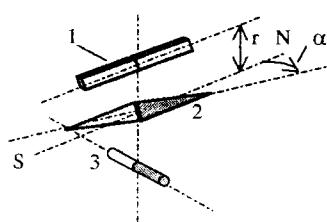


Рис. 5.1

5.2. Приборы, используемые для устранения девиации

$$(H - H_k)M \sin \alpha + H_a M \cos \alpha = 0, \quad (5.1)$$

где H , H_k и H_a – напряженности измеряемого магнитного поля, а также полей компенсационного и вспомогательного магнитов, соответственно, M – магнитный момент картушки. По мере увеличения степени компенсации измеряемого поля усиливается влияние поля вспомогательного магнита. При этом растет угол α отклонения картушки от меридiana и при $H=H_k$, как это следует из равенства (5.1), он достигнет 90^0 . Картушка сориентируется вдоль оси вспомогательного магнита. Таким образом, поворот картушки на 90^0 относительно оси компенсационного магнита свидетельствует о достижении полной взаимной компенсации первых двух полей и возможности съема показаний с дефлектора.

Устройство дефлектора Колонга показано на рис. 5.2 [5]. Компенсационный магнит 1 размером 95 x 10 x 10 мм изготавливается из высококачественного

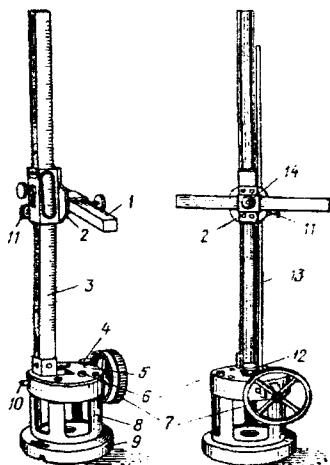


Рис.5.2

магнитного материала и имеет магнитный момент $1,7 \text{ A} \cdot \text{m}^2$. Северный конец магнита отмечен риской. На время измерений магнит устанавливается в каретку 2, перемещающуюся по направляющей линейке 3 со шкалой 13. Нижний конец линейки 3 прикреплен к основанию 5. В свою очередь, эта деталь крепится четырьмя винтами к стакану 8. Отверстия для винтов имеют эллиптическую форму, благодаря чему основание 5 вместе с линейкой 3 и измерительным магнитом 1 можно поворачивать на небольшие углы вокруг

вертикальной оси. Такая операция выполняется во время выверки дефлектора для совмещения оси измерительного магнита 1 с визирной плоскостью пеленгатора. Поворот задается винтом 6. Стакан 8 дефлектора прикреплен к основанию 9, которое также может поворачиваться вокруг вертикальной оси, что необходимо для подгонки дефлектора к пеленгатору. Основание 9 имеет верти-

Глава 5. Уничтожение девиации магнитного компаса

кальные вырезы для правильной ориентировки дефлектора относительно визирной плоскости при установке прибора на чашку пеленгатора.

Прибор снабжен приспособлением для микрометрического перемещения измерительного магнита 1, состоящим из маховика 7, зубчатой планки 12 и штока 13. На оси маховика 7 имеется небольшая шестерня, сцепленная с зубчатой планкой. При вращении маховика планка поднимается или опускается вместе с ввинченным в нее штоком 13, который с помощью винта 11 может быть соединен с кареткой 2. При этом каретка с измерительным магнитом будет медленно перемещаться по линейке.

Вспомогательный магнит 10 имеет длину 66 мм и диаметр 5 мм. Его магнитный момент равен $0,2 \text{ A} \cdot \text{м}^2$. Этот магнит устанавливается в гнезде под основанием линейки и закрепляется винтом 4.

Изменение величины H_k достигается за счет изменения расстояния r (рис. 5.1) от компенсационного магнита до картушки. Как известно,

$$H_k \approx \frac{M_k}{r^3}, \quad (5.2)$$

где M_k – магнитный момент компенсационного магнита. Магнит перемещается вдоль вертикальной линейки с делениями, на которой он установлен. Сам же дефлектор при измерении устанавливается на мостике пеленгатора МК.

В процессе измерений с помощью дефлектора следует помнить о том, что ось компенсационного магнита должна быть сориентирована таким образом, чтобы вектор напряженности его магнитного поля был направлен строго противоположно вектору напряженности измеряемого поля. Так, при оценке величины горизонтальной составляющей напряженности судового магнитного поля перед установкой дефлектора на пеленгатор следует под его призму подвести отсчет, равный 180° , вне зависимости от курса судна.

С помощью дефлектора Колонга можно производить измерение и вертикальных составляющих земного и судового магнитных полей. Однако, для этого лучше использовать судовой инклинер, описанный ниже.

Недостатком дефлектора Колонга является то, что он имеет нелинейную шкалу. В результате цена одного деления, нанесенного на направляющей ли-

5.2. Приборы, используемые для устранения девиации

нейке 3, изменяется при изменении положения магнита. Это, в свою очередь, затрудняет съем показаний с прибора. Указанный недостаток отсутствует в дефлекторе с равномерной шкалой.

Принцип действия дефлектора с равномерной шкалой аналогичен принципу действия рассмотренного прибора. Отличительной особенностью является

то, что изменение компенсирующего поля осуществляется изменением относительного положения двух магнитов (рис. 5.3), при этом расстояние r от магнитов до картушки остается постоянным. Компенсационные магниты располагаются один над другим и могут поворачиваться вокруг вертикальной оси в разные стороны на равные углы α . При нулевом значении угла α эти магниты расположены таким образом, что их оси параллельны, а полюса

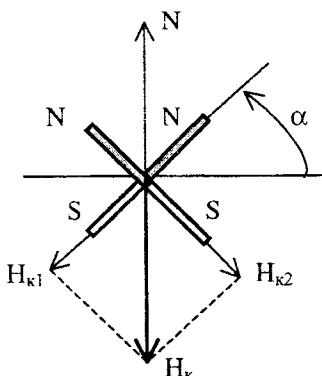


Рис. 5.3

взаимно противоположны. Над северным полюсом нижнего магнита находится южный полюс верхнего. При таком положении они создают в районе картушки МК два равных противоположно направленных полей, в результате чего воздействие дефлектора на картушку практически будет отсутствовать. Если угол α не равен нулю, то магнитные поля, напряженностью H_{k1} и H_{k2} каждого магнита складываясь образуют результирующее поле, вектор H_k напряженности которого направлен вдоль меридиана и компенсирует измеряемое поле. Очевидно,

$$H_k = (H_{k1} + H_{k2}) \sin \alpha \approx 2 H_{k1} \sin \alpha. \quad (5.3)$$

Выражение (5.3) показывает, что при изменении угла α величина H_k будет изменяться по синусоидальному закону. Для придания шкале дефлектора равномерности она приводится во вращение через специальный синусный механизм.

Устройство дефлектора с равномерной шкалой показано на рисунке 5.4 [5]. Измерительные магниты 20 укреплены на шестернях 8, которые приводятся во вращение с помощью червячной передачи 9, 10, зубчатого колеса 11 и рукоятки 13.

Глава 5. Уничтожение девиации магнитного компаса

Верхний магнит имеет несколько больший магнитный момент, чем нижний. Это необходимо для того, чтобы влияние обеих магнитов на картушку компаса было одинаковым. Если указанное условие, по каким либо причинам не вполне выполняется, возможна регулировка прибора путем перемещения одного из магнитов в вертикальном направлении.

Это достигается путем вращения головки 4, закрываемой колпачком 5.

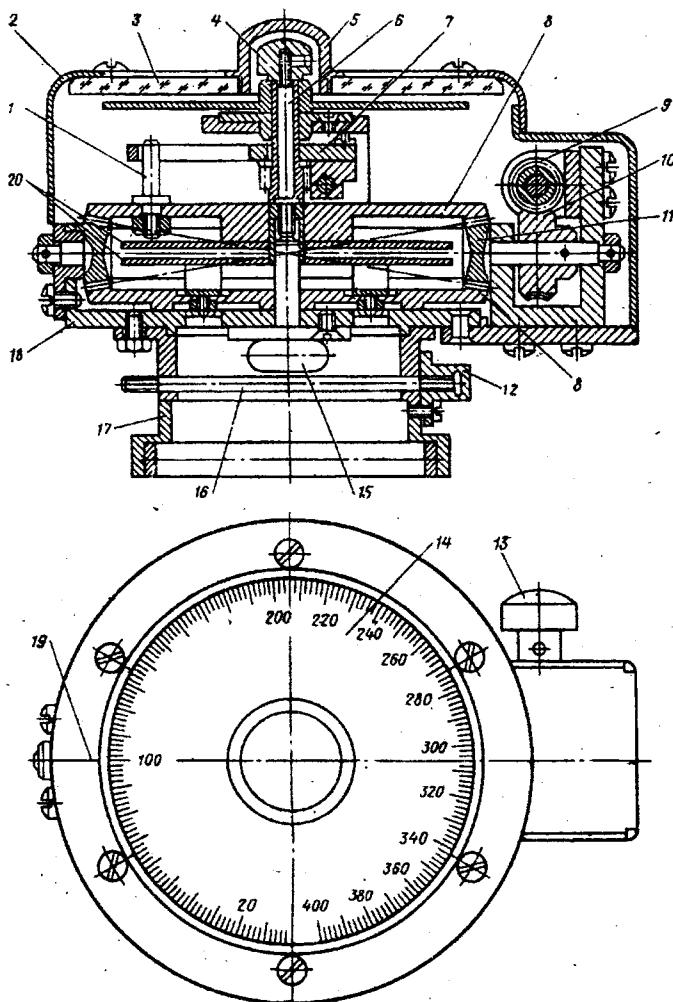


Рис. 5.4.

5.2. Приборы, используемые для устранения девиации

При вращении рукоятки 13 одновременно с измерительными магнитами поворачивается на оси б диск 14 со шкалой. Поворот диска со шкалой задается синусным механизмом 7, связанным с верхней шестерней 8 штифтом 1. Это, как было указано выше, обеспечивает равномерность шкалы дефлектора.

Измерительная система смонтирована на плате 18 в корпусе 2. Верхняя часть корпуса закрыта стеклянной крышкой 3. Для установки дефлектора на чашку пеленгатора служит основание 17. В нем прорезано сквозное овальное отверстие 15 для наблюдения нити предметной мишени пеленгатора.

В гнездах основания 17 помещен вспомогательный магнит 16. Одно из гнезд имеет колпачок 12 с внутренней резьбой, куда ввинчивается конец вспомогательного магнита.

Перед измерениями с помощью дефлекторов необходимо провести их проверку и подгонку к пеленгатору. Содержание указанных работ и методика их выполнения рассмотрены в главе 6.

5.2.2. Принцип действия инклиниатора

Судовой инклиниатор предназначен для измерения наклонения судового или земного магнитных полей. Основными частями этого прибора являются магнитная система (рис. 5.5) [5], шкала, корпус и арретирующие устройства.

Магнитная система состоит из двух цилиндрических магнитов 13, эквиполюсы которых расположены под углом 30° к магнитной оси системы. Такое положение магнитов обеспечивает нечувствительность системы к неоднородным магнитным полям, которые могут действовать на прибор в судовых условиях. Магниты укреплены в рамке 12, имеющей четыре лопасти 2, демптирующие колебания магнитной системы. На рамке установлены индексы 11 для отсчета показаний прибора по шкале. На цилиндрической части индексов нарезана резьба, на которую навернуты гайки 14. Путем перемещения этих двух гаек магнитная система балансируется относительно поперечной оси. Для балансировки системы относительно продольной оси служат две гайки 3 на

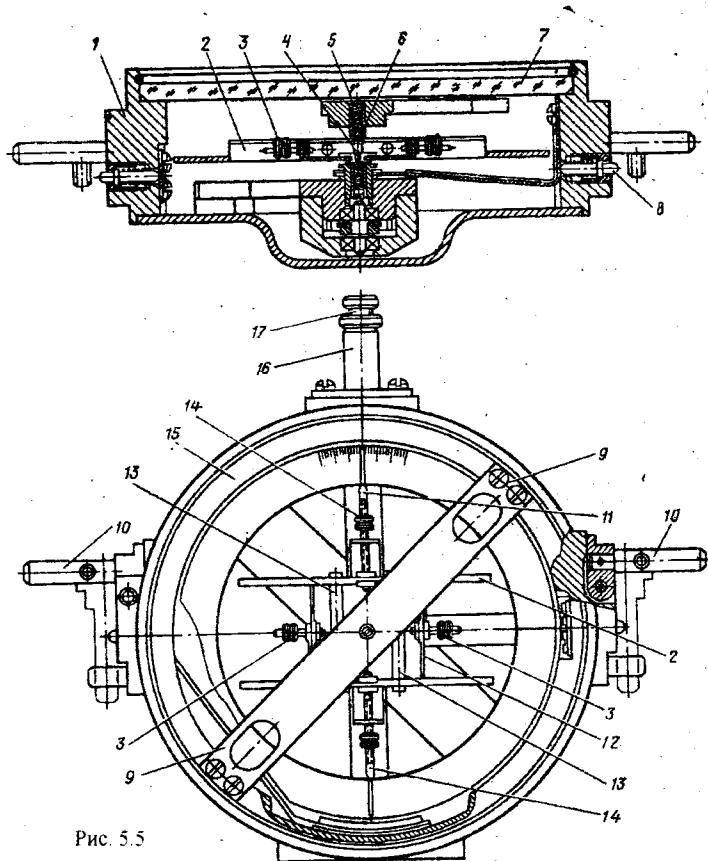


Рис. 5.5

стержнях, укрепленных в поперечной плоскости магнитной системы. У идеально отбалансированного прибора центр тяжести магнитной системы располагается на ее оси вращения.

В центре рамки укреплена ось 4 магнитной системы, концы оси вращаются в подпятниках 6, вмонтированных в мостик 9 на пружинных амортизаторах 5. Диск 15, на котором нанесена шкала для отсчета наклонения, также имеет горизонтальную ось, вращающуюся в шариковых подшипниках. Шкала разбита по четвертям от 0 до 90°, причем нулевые деления располагаются в горизонтальной плоскости даже при крене. Для этого диск со шкалой снабжен

5.2. Приборы, используемые для устранения девиации

латунным грузом и является своего рода маятником. Цена деления шкалы 1° . Каждое десятое деление оцифровано.

У исправного прибора угол застоя магнитной системы не превышает $0,2^{\circ}$. Магнитная система и шкала помещены в латунный корпус *1*, закрываемый стеклянной крышкой *7*. На боковых сторонах корпуса находятся приливы для установки съемных цапф *10*, на которых инклиноватор подвешивают в нактоуз компаса.

Прибор снабжен устройствами для арретирования магнитной системы и диска со шкалой. Арретиры приводятся в действие, если цапфы прибора повернуты на шарнире к корпусу и нажимают на стержни *8*. Когда цапфы повернуты в горизонтальное положение (прибор установлен в нактоуз), магнитная система и диск со шкалой снимаются с арретира.

В комплект инклиноватора входит несколько пар съемных цапф различных размеров, что позволяет использовать его при работе на компасах разных систем. Кроме того, в комплект входит несколько видов подцапфенных опор.

В верхней части корпуса прибора установлена втулка *16* для компенсационного магнита, с помощью которого можно компенсировать вертикальную составляющую магнитного поля в том случае, если инклиноватор предполагается использовать в режиме магнитных весов. Внутри втулки сделана резьба, на которую навинчивается пенал *17* с компенсационным магнитом. Этих магнитов в комплекте прибора четыре, и каждый из них имеет определенный магнитный момент. В зависимости от величины магнитного момента магниты пронумерованы порядковыми номерами. Магнит № 1 обладает наибольшим моментом, а № 3 — наименьшим. Магниты позволяют компенсировать вертикальную составляющую магнитного поля частично или полностью в любых возможных на судах магнитных условиях.

На одном из приливов корпуса нанесена риска, позволяющая при работе с прибором устанавливать его в одинаковое положение относительно меридиана, что имеет существенное значение в тех случаях, когда инклиноватор перед работой не был выверен. В нижней части корпуса укреплен груз для придания

инклинеру устойчивости в вертикальной плоскости. Прибор хранится в деревянном футляре.

Перед измерениями инклинер, как и дефлектор, следует выверить.

5.3. Уничтожение полукруговой девиации способом Эри

Полукруговая девиация порождается судовыми магнитными силами $B'\lambda H = cZ + P$ и $C'\lambda H = fZ + Q$. Преимущественное влияние на величину девиации оказывают составляющие P и Q , обусловленные наличием на борту судна магнитотвердых материалов. Это дает основание уничтожать полукруговую девиацию с помощью постоянных магнитов. Составляющие cZ и fZ , порождаемые магнитомягкими материалами, проявляют себя, в основном, в относительно высоких широтах и при необходимости их влияние может быть устранено дополнительно. Методика выполнения этих работ рассмотрена в п 5.5..



Важно!

Уничтожение полукруговой девиации производится на четырех главных магнитных курсах судна. Порядок приведения судна на заданные курсы не имеет значения. Девиационные работы

можно начинать с любого курса и в дальнейшем выбирать их исходя из имеющейся навигационной обстановки и удобства маневрирования.

Сущность способа Эри проиллюстрируем на примере устраниния СМС $C'\lambda H$. Компенсация этой силы производится на магнитных курсах 0° и 180° .

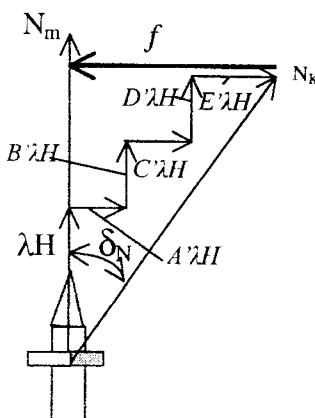


Рис. 5.6

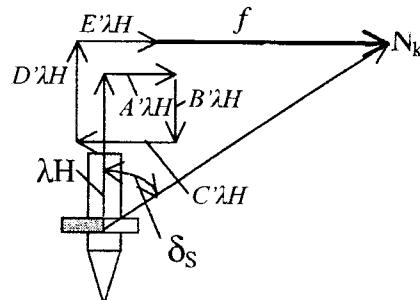


Рис.5.7

5.3. Уничтожение полукруговой девиации способом Эри

Рассмотрим взаимную ориентацию СМС на указанных курсах. Если судно идет на север, схема судовых магнитных сил примет вид, показанный на рис. 5.6. Как следует из этого рисунка, девиация δ_N обусловлена наличием сил $A'\lambda H$, $C'\lambda H$, $E'\lambda H$. Наша задача заключается в компенсации судовой магнитной силы $C'\lambda H$. Но мы не знаем какую часть наблюдаемой девиации δ_N она порождает. А поэтому с помощью постоянных поперечных^{*} магнитов, размещаемых в девиационном устройстве, приводим отсчет картушки на 0^0 , т.е. полностью устранив наблюдаемую девиацию. Сила, создаваемая корректирующими магнитами в данном случае будет равна f (рис. 5.6).

Для того, чтобы окончательно определить положение магнитов, при котором устраняется только сила $C'\lambda H$ необходимо перевести судно на магнитный курс 180^0 . Схема судовых магнитных сил, соответствующая указанному курсу, показана на рис. 5.7. Как это следует из рисунка результирующая сила, создающая девиацию, будет определяться следующим выражением:

$$A'\lambda H - C'\lambda H + E'\lambda H + f = A'\lambda H - C'\lambda H + E'\lambda H + A'\lambda H + C'\lambda H + E'\lambda H = 2(A'\lambda H + E'\lambda H) \quad (5.4)$$

Поскольку на курсе 0^0 была допущена перекомпенсация на величину $A'\lambda H + E'\lambda H$, а СМС, порождающая девиацию, равна удвоенному значению этой перекомпенсации (см. равенство (5.4)), для ее устранения следует уменьшить наблюдаемую девиацию наполовину. Это достигается путем изменения степени влияния тех же поперечных магнитов. Следует иметь в виду, что при относительно больших значениях девиации МК уменьшение наблюдаемой девиации в два раза не вполне соответствует уменьшению наполовину судовых магнитных сил, ее порождающих. Однако, в большинстве практических случаев указанный прием вполне допустим.

Для уничтожения полукруговой девиации, порождаемой судовой магнитной силой $B'\lambda H$, следует на курсе 90^0 (или 270^0) с помощью продольных магнитов полностью устраниТЬ наблюдаемую девиацию, а на курсе 270^0 (или 90^0) - уменьшить ее вдвое.

* Поперечные магниты создают поле, направленное перпендикулярно диаметральной плоскости судна.

Способ Эри достаточно простой в реализации и позволяет качественно выполнить планируемые работы.

5.4. Уничтожение полукруговой девиации способом Колонга

В отличие от способа Эри в рассматриваемом случае уничтожение полукруговой девиации осуществляется на четырех главных


Важно! компасных курсах. При этом принимается, как правило, имеющее место на практике допущение об относительной малости СМС $A'\lambda H$ и $E'\lambda H$.

При выполнении работ устраняется или уменьшается не наблюдаемая девиация, а непосредственно СМС, ее вызывающие. С этой целью на указанных выше компасных курсах судна производится измерение горизонтальной составляющей H' судового магнитного поля. При принятых допущениях эта составляющая на курсах 0° и 180° будет определяться судовыми магнитными силами λH , $B'\lambda H$ и $D'\lambda H$ (рис. 5.8). Как следует из рисунка

$$H'_N = \lambda H \cos \delta_N + D'\lambda H \cos \delta_N + B'\lambda H, \\ H'_S = \lambda H \cos \delta_S + D'\lambda H \cos \delta_S - B'\lambda H. \quad (5.5)$$

Совместное использование указанных равенств позволяет отделить силы,

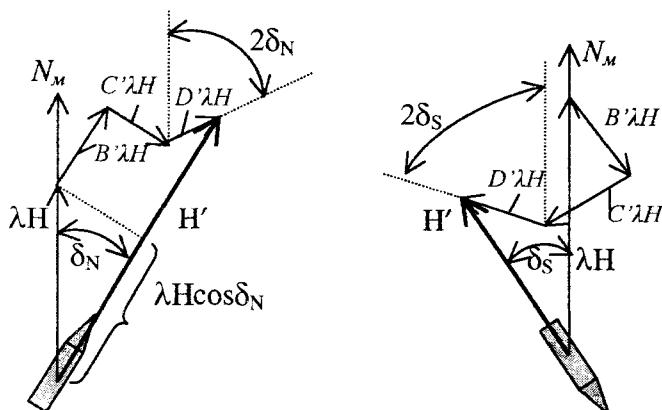


Рис. 5.8

порождающую интересующую нас полукруговую девиацию, от сил ее не поро-
84

5.4. Уничтожение полукруговой девиации способом Колонга

ждающих. Действительно, если вычислить среднее значение $0,5(H'_N + H'_S)$ на-пряженностей магнитного поля, измеренных на противоположных курсах судна, то это значение не будет зависеть от СМС $B'\lambda H$:

$$H'_{cp} = 0,5(H'_N + H'_S) = (\lambda H + D'\lambda H) \cos\delta. \quad (5.6)$$

Следовательно, значение силы $B'\lambda H$ будет определяться разностью между H'_N или H'_S и H'_{cp} .

Напряженность судового магнитного поля измеряется с помощью дефлек-тора, путем компенсации измеряемого поля полем его магнитов. Принимая во внимание сказанное, становится очевидной методика устранения полукруговой девиации. Действительно, зная величину H'_{cp} и выставив ее значение на дефлек-торе, установленном на пеленгаторе компаса, мы с его помощью компенсируем указанную составляющую судового магнитного поля на одном из рассматривае-мых курсов (N или S). В этих условиях на картушку будет действовать только сила $B'\lambda H$, которая осталась не скомпенсированной. Названная сила устраняется с помощью продольных постоянных магнитов, расположенных в нактузе МК.

Уничтожение СМС $C'\lambda H$ производится аналогично рассмотренному на курсах 90° и 270° .

Порядок устранения девиации представлен на рис. 5.9. Для определения правильной последовательности операций следует перемещаться по рисунку, придерживаясь однотипных линий.

5.5. Уничтожение широтной девиации

При устранении полукруговой девиации описанными выше способами ис-пользовались постоянные магниты. Это не вполне корректно, так как СМС, по-рождающие указанную девиацию, определяются не только параметрами P и Q , но и составляющими cZ и fZ магнитного поля, создаваемого судовыми магни-томягкими материалами. Значения последних зависят от величины вертикаль-ной составляющей Z магнитного поля Земли и, следовательно, от широты места судна. Таким образом, баланс сил, создающих полукруговую девиацию и ком-пенсирующих ее, достигнутый в процессе проведения девиационных работ, бу-

Порядок уничтожения полукруговой девиации способом Колонга

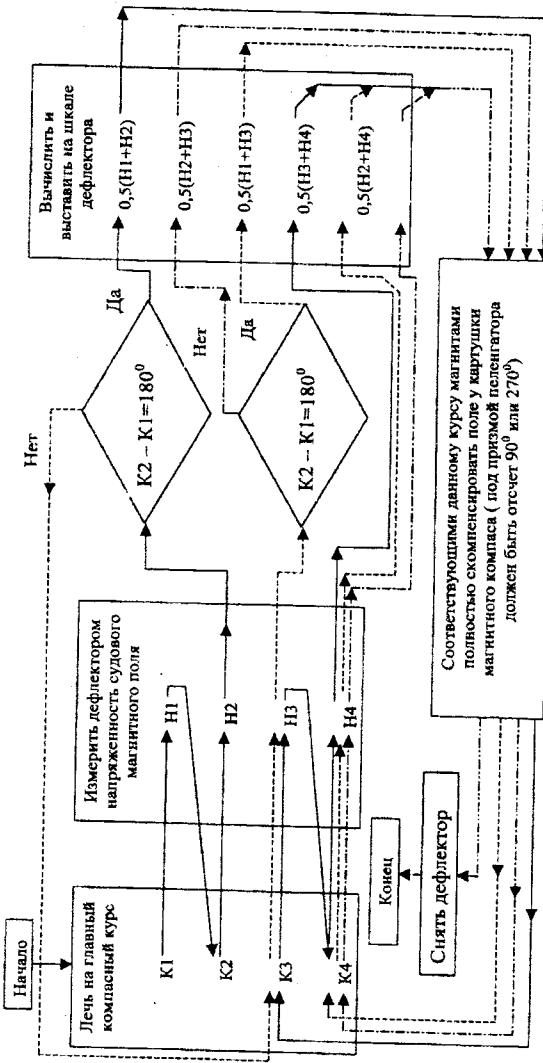


Рис. 5.9

5.5. Уничтожение широтной девиации

дет нарушен при перемещении судна в другую широту. Девиация, которая при этом возникает, получила название *широтной девиации*.

Очевидно, что устранение широтной девиации, необходимо производить с помощью магнитомягких материалов, которые хорошо бы намагничивались компонентой Z' судового магнитного поля. Последнее замечание относится не столько к виду материала, который по своим магнитным свойствам должен быть близким к свойствам материалов, порождающих широтную девиацию, сколько к форме компенсаторов. Наиболее целесообразно использовать в качестве указанных компенсаторов стержни прямоугольной или цилиндрической формы, продольная ось которых располагается вертикально (рис. 5.10) таким образом, чтобы создаваемая ими сила $c_1 Z'$ была бы направлена в сторону, противоположную силе cZ , порождаемой судовым железом.

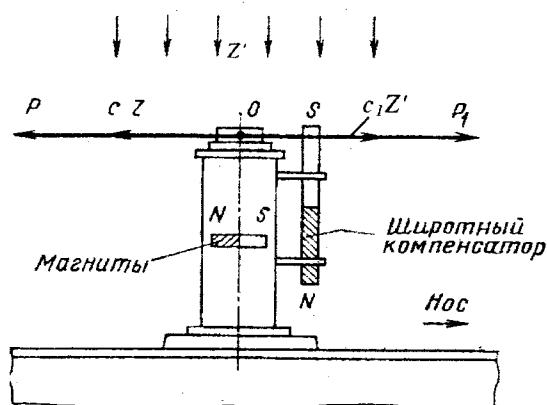


Рис.5.10

$$c_1 Z' = -c Z. \quad (5.7)$$

Перепишем условия (5.7) учитывая, что $Z' \approx (1+k)Z + R$:

$$c_1 [(1+k)Z + R] = -c Z. \quad (5.8)$$

Составляющая $c_1 R$ не зависит от широты места судна и не порождает широтную девиацию. Поэтому, будучи устраниенной при уничтожении полукруговой девиации, она больше не проявляет себя в процессе плавания судна. Учитывая это, условие (5.8) примет вид:

Необходимые размеры бруска, будем искать в предположении, что значение $fZ \ll cZ$, что, как правило, имеет место на практике. В этом случае, условия компенсации девиации можно представить в виде:

$$c_1(1+k)Z = -c Z. \quad (5.9)$$

Отсюда следует, что для обеспечения компенсации силы cZ необходимо выбрать брускок, у которого параметр

$$c_1 = \frac{c}{1+k}. \quad (5.10)$$

Как видим, для определения коэффициента c_1 и выбора по нему размеров компенсационного бруска необходимо знать параметры c и k . Эти параметры можно определить, измерив СМС $B'\lambda H$ и Z' в двух разных широтах. В этом случае будут иметь место следующие равенства:

$$B'_1\lambda H = cZ_1 + P, \quad B'_2\lambda H = cZ_2 + P. \quad (5.11)$$

Вычитая из первого равенства второе, найдем:

$$B'_1\lambda H - B'_2\lambda H = c(Z_1 - Z_2). \quad (5.12)$$

Отсюда:

$$c = \frac{B'_1\lambda H - B'_2\lambda H}{Z_1 - Z_2}. \quad (5.13)$$

Аналогично можно определить значение коэффициента k . Зная величину вертикальных составляющих Z'_1 и Z'_2 судового магнитного поля в двух разных широтах, можно записать:

$$Z'_1 = (1+k)Z_1 + R, \quad Z'_2 = (1+k)Z_2 + R. \quad (5.14)$$

Вычитая из первого равенства второе, после несложных преобразований найдем:

$$k = \frac{Z'_1 - Z'_2}{Z_1 - Z_2} - 1. \quad (5.15)$$

Как уже отмечалось, по значению c и k можно подобрать параметры компенсатора, если $fZ \ll cZ$. В том же случае, когда необходимо учесть влияние СМС fZ (рис. 5.11), для выбора компенсатора рассчитывают величину m_1 , которая определяется следующим равенством:

$$m_1 = \sqrt{c_1^2 + f_1^2} \text{ или } m_1 = \frac{\sqrt{c^2 + f^2}}{1+k}. \quad (5.16)$$

Параметр f в выражении (5.16) рассчитывается по аналогии с параметром c по следующей формуле:

5.5. Уничтожение широтной девиации

$$f = \frac{C'_1 \lambda H - C'_2 \lambda H}{Z_1 - Z_2}. \quad (5.17)$$

Подобранный по значению m_1 широтный компенсатор ШК устанавливается не в диаметральной плоскости, а разворачивается относительно нее на угол α , значение которого определяется следующим выражением:

$$\alpha = \arctg \frac{f}{c} \approx \frac{f}{c}. \quad (5.18)$$

К сожалению, после того, как брускок установят на штатное место, он будет

намагничиваться не только судовым магнитным полем, но и магнитами картушки МК. Это приведет к появлению дополнительной, четвертной девиации, которая получила название *девиации от индукции*. Для ее исключения используется широтный компенсатор, представляющий собой соч-

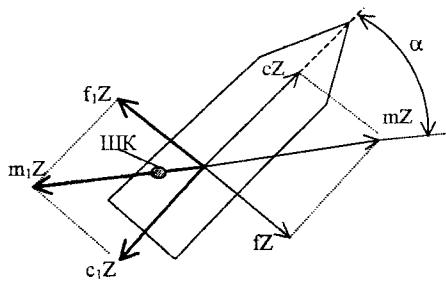


Рис. 5.11

тение двух одинаковых вертикальных брусков, установленных во взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостях, проходящих через центр компаса (рис. 5.12). Параметры брусков m_1 и m_2 подбираются из условия:

$$m_p = \sqrt{m_1^2 + m_2^2} = m_1\sqrt{2}, \quad (5.19)$$

где m_p – значение результирующего параметра, необходимого для компенсации

составляющей mZ судового магнитного поля. Нетрудно показать, что

$$m_p = \frac{m}{1+k} \quad (5.20)$$

и, следовательно,

$$m_1 = \frac{m}{\sqrt{2}(1+k)}. \quad (5.21)$$

Названные бруски намагничиваются кар-

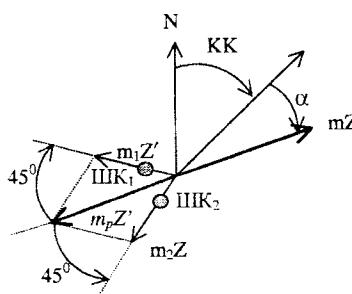


Рис. 5.12

тушкой МК одинаково, в результате чего влияние на нее магнитных полей, возникающих из-за указанного намагничивания, взаимно компенсируются [5] и девиация от индукции не возникает.

5.6. Уничтожение четвертной девиации

Четвертная девиация вызывается магнитомягким судовым железом и, следовательно, для ее устранения необходимо использовать магнитомягкий материал, размещаемый в районе картушки МК. Этот материал, намагничиваясь судовым магнитным полем, создает свое собственное поле, которое, как и судовое, вызывает отклонение картушки МК. Задача сводится к подбору параметров компенсаторов и размещению их таким образом, чтобы девиация, порожденная ими, была равна по величине и противоположна по знаку девиации, порожденной судовым полем. Это возможно только тогда, когда коэффициенты D' и E' четвертной девиации, обусловленной судовым полем, равны, соответственно, коэффициентам D'_k и E'_k девиации, порожденной компенсаторами, и имеют противоположные знаки.

Рассмотрим вначале принцип компенсации СМС $D'\lambda H$. Коэффициент D' этой силы определяется следующим равенством:

$$D' = \frac{a - e}{2\lambda}. \quad (5.22)$$

Как видно из рис. 5.13 [5] судовые параметры a и e имеют отрицательный знак. На практике, к тому же, численное значение параметра a меньше, чем параметр e . Это свидетельствует о том, что судовой коэффициент четвертной девиации имеет положительный знак. Следовательно, коэффициент D'_k должен быть меньше нуля.

В качестве компенсаторов могут быть взяты элементы любой формы, но на практике чаще всего применяют продольные и поперечные бруски или шары. Компенсатор намагничивается продольной ($+X$) и поперечной ($+Y$) составляющими земного поля (рис. 5.14). В точке O (центр компаса) такой компенсатор создает силы ($-a_k X$) и ($+e_k Y$). Это значит, что параметр a_k будет отрицательным, а параметр e_k - положительным. В результате коэффициент

5.6. Уничтожение четвертной девиации

$$D'_k = \frac{-a_k - (e_k)}{2\lambda_k} \quad (5.23)$$

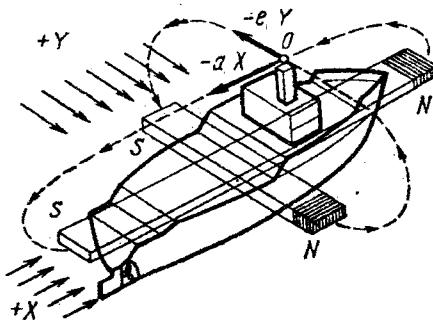


Рис.5.13

дат выполнено условие $|D'_k| = |D'|$.

Для компенсации девиации обычно берут два бруска или шара и устанавливают их симметрично относительно продольной плоскости МК. Размеры брусков подбирают по специальной методике, сущность которой будет рассмотрена ниже.

В большинстве случаев уничтожение четвертной девиации ограничивается компенсацией рассмотренной СМС, так как сила $E'\lambda H$ обычно мала. Однако на практике могут иметь место случаи, когда влиянием $E'\lambda H$ пренебречь нельзя. Тогда производится уничтожение обеих судовых магнитных сил. Их уничтожают теми же компенсаторами, которые используются для устранения силы $D'\lambda H$, при этом несколько изменяются размеры брусков или шаров, а они сами разворачиваются в горизонтальной плоскости на определенный угол. Параметры брусков подбирают [5] по величине

$$D'_k = \sqrt{(D')^2 + (E')^2}, \quad (5.24)$$

а угол разворота α вычисляют по формуле:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{E'}{D'}, \quad (5.25)$$

всегда будет отрицательным.

Таким образом, элемент из мягкого ферромагнетика, установленный сбоку от компаса, может стать компенсатором четвертной девиации, если бу-

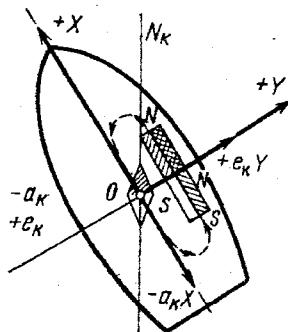


Рис. 5.14

Практическое уничтожение четвертной девиации лучше проводить одновременно с уничтожением девиации от индукции, которая возникает в результате намагничивания компенсаторов четвертной девиации магнитами картушки компаса. Рассмотрим сущность указанной девиации.

5.7. Сущность девиации от индукции

Обратимся к случаю, когда для компенсации четвертной девиации используются продольные бруски с такими параметрами, что их попечной намагниченностью можно пренебречь (рис. 5.15).

Магнитные силовые линии поля картушки, замыкаясь через эти бруски, намагничивают их таким образом, что их южный магнитный полюс оказывается вблизи северного полюса картушки, а северный – вблизи южного полюса картушки. В результате такой намагниченности бруски образуют в центре картушки магнитное поле с напряженностью H_i . В этих условиях, вектор результирующей напряженности магнитного поля H' будет отклонен от плоскости магнитного меридиана на угол δ_i , который и является девиацией от индукции.

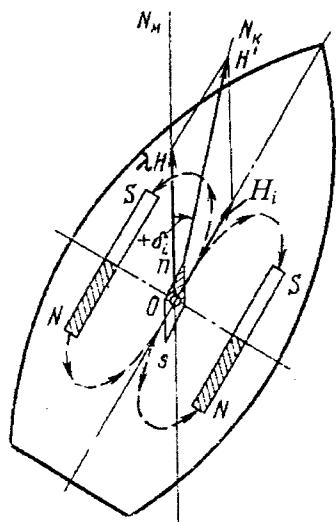


Рис. 5.15

Степень намагниченности брусков и величина порождаемой ими девиации зависит от курса судна. На главных компасных курсах она равна нулю. Действительно, если судно идет на север или юг, вектора H_i и H' (рис.

5.16) будут коллинеарны и расположены в плоскости компасного меридиана. В результате они не смогут отклонить картушку от этого меридиана. При восточных

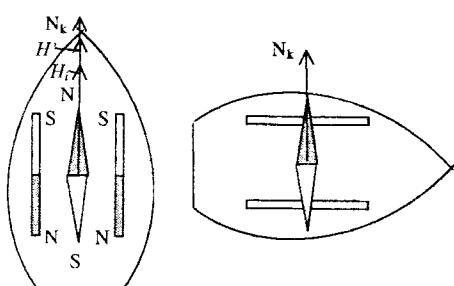


Рис. 5.16

5.7. Сущность девиации от индукции

и западных курсах судна компенсаторы не будут намагничиваться картушкой и, как следствие, девиация также будет отсутствовать. Своего максимума девиация от индукции будет достигать на четвертных курсах судна и, следовательно, будет носить четвертной характер. Амплитудное значение девиации называется *приближенным коэффициентом индукции*, а его точное значение определяется максимальным значением синуса девиации. Знак коэффициента индукции D_i определяют по знаку девиации на курсе 45^0 . Если девиация $\delta_{45} > 0$, то и коэффициент $D_i > 0$.

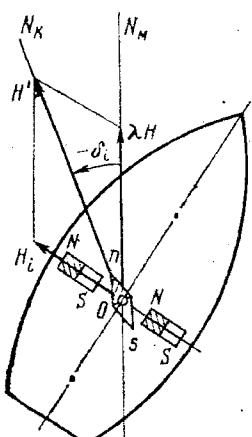


Рис. 5.17

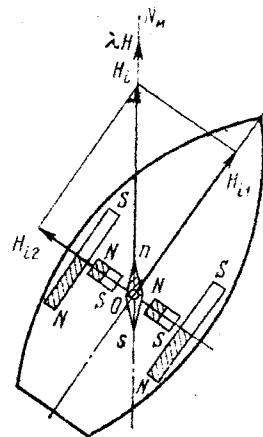


Рис. 5.18

Как следует из рис. 5.15 продольные бруски создают девиацию с коэффициентом $D_i > 0$. Нетрудно убедиться в том (рис. 5.17), что поперечные бруски создают девиацию с отрицательным коэффициентом индукции. Таким образом, появляется возможность устранения девиации от индукции путем использования обеих типов брусков. Их параметры и расположение можно выбрать так (рис. 5.18), чтобы результирующая сила H_i от продольных H_{i1} и поперечных H_{i2} компенсаторов на любом курсе была бы направлена вдоль магнитного меридиана и девиация бы не возникла.

На практике в качестве поперечных элементов, компенсирующих влияние продольных компенсаторов, применяют небольшие пластины из мягкого

ферромагнетика, устанавливаемые внутри нактоуза, под котелком компаса. Указанные пластины называют *индукционными*. Наряду с этим имеется возможность подобрать правильное соотношение длины и ширины компенсатора четвертной девиации, которое исключает возможность возникновения девиации от индукции. Такие компенсаторы получили название *безиндукционных*. Указанные бруски намагничиваются как в продольном, так и в поперечном направлениях и их воздействие на компас эквивалентно одновременному воздействию продольных и поперечных компенсаторов.

Определение величины девиации от индукции производят с помощью котелка МК с “легкой” картушкой. Магнитный момент этой картушки примерно в 10 раз меньше, чем магнитный момент картушки обычного котелка. Это позволяет приближенно считать, что такая картушка не вызывает девиации от индукции.

5.8. Совместное уничтожение четвертной девиации и девиации от индукции

Практическое уничтожение четвертной девиации производится после уничтожения полукруговой девиации в порту, в котором имеется магнитная лаборатория. Работу следует осуществлять в следующей последовательности [5]:

- Взять 8 компасных пеленгов на основных и четвертных компасных курсах судна на один и тот же береговой ориентир.
- Используя полученные результаты и равенства (5.16)*:

$$\begin{aligned} D &= 0,25(KP_{SE} + KP_{NW} - KP_{NE} - KP_{SW}), \\ E &= 0,25(KP_E + KP_W - KP_N - KP_S) \end{aligned} \quad (5.26)$$

рассчитать коэффициенты девиации D и E .

- Рассчитать коэффициент компенсатора D_k :

$$D_k = \sqrt{D^2 + E^2}. \quad (5.27)$$

- Снять котелок вместе с верхней частью нактоуза МК и отвезти все на берег в магнитную лабораторию.
- Установить магнитный компас на поворотную платформу. Подобрать по D_k компенсаторы четвертной девиации и установить их на штатные места в

* Теоретическое обоснование используемых для расчета зависимостей будет дано ниже.

5.8. Совместное уничтожение четвертной девиации и девиации от индукции

нактоузе.

- Заменить штатный котелок МК на котелок с “легкой” картушкой.
- На четвертных углах взять 4 пеленга берегового ориентира.
- Используя первое выражение (5.26) рассчитать коэффициент D_1 .
- Если коэффициент D_1 отличается от коэффициента D_k больше, чем на $0,4^0$, следует взять другие, ближайшие по параметрам, бруски установить их вместо ранее выбранных и вновь определить значение D_1 .
- Повторять операции до тех пор, пока разница значений коэффициентов не войдет в требуемые рамки. После этого следует установить в нактоуз штатный котелок МК.
- На четвертных углах взять 4 пеленга берегового ориентира.
- Используя первое равенство (5.26) рассчитать коэффициент D_2 , который учитывает девиацию от индукции.
- Определить коэффициент индукции $D_i = D_2 - D_1$. Если коэффициент индукции превышает $0,2^0$, по его значению подобрать компенсаторы девиации от индукции и установить их на штатные места.
- Проверить соответствие выбранных компенсаторов указанному требованию, вновь определив значение коэффициента индукции. После окончательного подбора компенсаторов вернуть МК на судно.
- Установить верхнюю часть нактоуза на место и развернуть ее на угол

$$\alpha = 0,5 \operatorname{arctg} \frac{E}{D}. \quad (5.28)$$

- Развернуть пружинный подвес котелка относительно нактоуза на угол α в противоположную сторону для того, чтобы сохранить требуемую ориентацию азимутальной шкалы МК относительно диаметральной плоскости судна.

На этом завершается устранение четвертной девиации. Рассмотренная задача несколько упрощается, если используются безиндукционные компенсаторы.

5.9. Уничтожение креновой девиации

Ранее были получены выражения, определяющие значения продольной и поперечной составляющих СМС в проекциях на плоскость картушки МК при

наличии крена γ и дифферента θ судна, которые имели следующий вид:

$$X'_k = \left(1 + \frac{a+k}{2}\right)X + P \cos \theta - R \sin \theta + \frac{a-k}{2}Z \sin 2\theta + \frac{a-k}{2}X \cos 2\theta.$$

$$Y'_k = \left(1 + \frac{e+k}{2}\right)Y + Q \cos \gamma - R \sin \gamma + Z \frac{e-k}{2} \sin 2\gamma + Y \frac{e-k}{2} \cos 2\gamma.$$

В силу того, что в этих равенствах присутствуют члены, зависящие от углов крена и дифферента, девиация МК будет отличной от той, которая имела бы место при движении судна на прямом киле. Для исключения дополнительной креновой девиации необходимо принять такие меры, чтобы значения X'_k и Y'_k стали инвариантными по отношению к углам θ и γ , т.е. при всех значениях указанных углов должны выполняться равенства:

$$\begin{aligned} X'_k &= \left(1 + \frac{a+k}{2}\right)X + P \cos \theta - R \sin \theta + \frac{a-k}{2}Z \sin 2\theta + \frac{a-k}{2}X \cos 2\theta = \\ &= (1+a)X + P, \\ Y'_k &= \left(1 + \frac{e+k}{2}\right)Y + Q \cos \gamma - R \sin \gamma + Z \frac{e-k}{2} \sin 2\gamma + Y \frac{e-k}{2} \cos 2\gamma = \\ &= (1+e)Y + Q. \end{aligned} \quad (5.29)$$

Нетрудно видеть, что правые части равенств (5.29) определяют значения X'_k и Y'_k при отсутствии крена и дифферента.

Для того, чтобы обеспечить выполнение этого условия, следует, прежде всего, устранить полукруговую девиацию. При этом уничтожаются СМС P и Q , порождаемые магнитотвердыми материалами. Затем необходимо провести устранение четвертной девиации. В результате этого коэффициент $D' = \frac{a-e}{2\lambda}$ станет равным нулю и, следовательно, будет выполняться условие $a = e$. После устранения полукруговой и четвертной девиации равенства (5.29) примут вид:

$$\begin{aligned} \left(1 + \frac{a+k}{2}\right)X - R \sin \theta + \frac{a-k}{2}Z \sin 2\theta + \frac{a-k}{2}X \cos 2\theta &= (1+a)X, \\ \left(1 + \frac{e+k}{2}\right)Y - R \sin \gamma + Z \frac{e-k}{2} \sin 2\gamma + Y \frac{e-k}{2} \cos 2\gamma &= (1+e)Y. \end{aligned} \quad (5.30)$$

Эти равенства будут выполняться при любых углах крена и дифферента, если сила R будет всегда равна нулю, а коэффициент $e=a=k$. Указанные условия

5.9. Уничтожение креновой девиации

можно обеспечить, если при движении судна на Восток или Запад с помощью креновых (с вертикальной осью) постоянных магнитов установить наклонение судового магнитного поля, равным земному. Учитывая, что на указанных курсах $Y = H$ (рис. 5.19), можно записать:

$$Y'_{E,W} = (1 + e)H, \quad Z' = (1 + k)Z + R. \quad (5.31)$$

Как это следует из полученных зависимостей, равенство наклонений судового и земного магнитных полей:

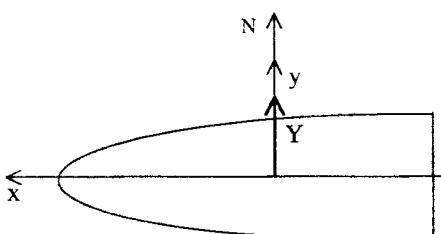


Рис. 5.19

$$\frac{Z'}{Y'_{E,W}} = \frac{Z}{H} \quad (5.32)$$

будет иметь место только в том случае, если $e = k$, а $R = 0$.

Таким образом, для уничтожения креновой девиации необходимо:

- предварительно уничтожить полуокруговую и четвертную девиации;
- определить наклонение магнитного поля Земли в точке места судна;
- лежь на курс 90^0 или 270^0 ;
- установить в нактоуз вместо котелка магнитного компаса судовой инклинератор;
- перемешая креновый магнит установить наклонение судового магнитного поля, равным наклонению земного магнитного поля. Закрепить креновый магнит.

Несмотря на то, что описанная методика устранения креновой девиации основана на принятых выше допущениях, она, как правило, вполне удовлетворяет требованиям практики к качеству проведения девиационных работ.

5.10. Составление таблицы остаточной девиации

После завершения всех девиационных работ составляется таблица *остаточной девиации*, позволяющая в рейсе уточнить показания МК и оценить его поправку. Указанная таблица составляется с дискретностью изменения курсов, равной 10^0 или 15^0 . Для того чтобы не терять время на измерение девиации на 36 или 24 курсах судна, работы проводят в три приема:

- измеряют девиацию МК на восьми главных и четвертных компасных курсах судна;
- используя полученные данные, рассчитывают коэффициенты девиации;
- используя значения коэффициентов девиации, рассчитывают таблицу девиации.

Как известно, коэффициенты девиации связаны со значениями самой девиации следующим соотношением:

$$\sin \delta = A' \cos \delta + B' \sin KK + C' \cos KK + D' \sin(2KK + \delta) + E' \cos(KK + \delta) \quad (5.33)$$

Учитывая, что после уничтожения девиации ее остаточная величина достаточно мала, выражение (5.33) можно заменить приближенным:

$\delta \approx A + B \sin KK + C \cos KK + D \sin 2KK + E \cos 2KK,$ (5.34)
где $A \dots E$ – приближенные коэффициенты девиации. Для указанных выше восьми курсов судна значения девиаций будут определяться следующими равенствами:

$$\begin{aligned} \delta_N &= A + C + E, & \delta_{NE} &= A + BS_4 + CS_4 + D, \\ \delta_E &= A + B - E, & \delta_{SE} &= A + BS_4 - CS_4 - D, \\ \delta_S &= A - C + E, & \delta_{SW} &= A - BS_4 - CS_4 + D, \\ \delta_W &= A - B - E & \delta_{NW} &= A - BS_4 + CS_4 - D, \end{aligned} \quad (5.35)$$

где S_4 – равно синусу 45^0 . Эти равенства позволяют найти выражения, используя которые можно определить значения коэффициентов девиации МК. Для этого следует умножить левые и правые части равенств (5.35) на сомножители искомого коэффициента девиации и сложить полученные зависимости.

Учитывая, что сомножителем коэффициента A во всех равенствах является единица, сложим сами равенства (5.35). В результате найдем:

$$\sum \delta_i = 8A, \quad (5.36)$$

где δ_i – значение девиации на каждом (i – ом) из восьми курсов судна. Из выражения (5.36) следует, что

$$A = \frac{\sum \delta_i}{8}. \quad (5.37)$$

Умножим равенства (5.35) на сомножители при коэффициенте девиации B . В результате получим:

5.10. Составление таблицы остаточной девиации

$$\begin{aligned}
 \delta_{NE} S_4 &= AS_4 + BS_4^2 + CS_4^2 + DS_4, \\
 \delta_E &= A + B - E, \\
 \delta_{SE} S_4 &= AS_4 + BS_4^2 - CS_4^2 - DS_4, \\
 -\delta_{SW} S_4 &= -AS_4 + BS_4^2 + CS_4^2 - DS_4, \\
 -\delta_W &= -A + B + E, \\
 -\delta_{NW} S_4 &= -AS_4 + BS_4^2 - CS_4^2 + DS_4.
 \end{aligned} \tag{5.38}$$

Складывая найденные выражения, будем иметь:

$$\delta_E - \delta_W + (\delta_{NE} - \delta_{SW} + \delta_{SE} - \delta_{NW}) S_4 = 2B + 4BS_4^2 = 4B. \tag{5.39}$$

Отсюда следует, что

$$B = 0,25[\delta_E - \delta_W + (\delta_{NE} + \delta_{SE} - \delta_{SW} - \delta_{NW})]. \tag{5.40}$$

Последнее равенство может быть записано насколько в ином виде:

$$B = 0,25 \sum \delta_i \sin i, \tag{5.41}$$

где под i так же следует понимать один из восьми компасных курсов (0° , 45° ... 315°). Поступая аналогично, нетрудно получить выражения для остальных коэффициентов:

$$C = 0,25 \sum_1^8 \delta_i \cos i, \quad D = 0,25 \sum_1^8 \delta_i \sin 2i, \quad E = 0,25 \sum_1^8 \delta_i \cos 2i. \tag{5.42}$$

Значения коэффициентов девиации можно выразить и через известные компасные пеленги, если учесть, что $\delta = МП - КП$, где $МП$ - магнитный пеленг на ориентир, который не зависит от курса судна. Так, например, если подставить значение девиации в равенства, определяющие коэффициенты четвертной девиации, то получим выражения, которые использовались при описании способа устранения четвертной девиации МК:

$$\begin{aligned}
 D &= 0,25(KП_{SE} + KП_{NW} - KП_{NE} - KП_{SW}), \\
 E &= 0,25(KП_E + KП_W - KП_N - KП_S).
 \end{aligned} \tag{5.43}$$

После того, как определены коэффициенты остаточной девиации МК, их значения подставляют в равенство (5.34) и вычисляют искомые величины остаточной девиации на различных курсах судна. Если на судне отсутствует вычислительная техника, то для расчетов можно воспользоваться специальными

Глава 5. Уничтожение девиации магнитного компаса

бланками [3, 5], в которых с целью уменьшения вероятности появления ошибок

Таблица 5.1

Таблица остаточной девиации МК

Курс (град)	0	45	90	135	180	225	270	315
Измеренная девиация (град)	-0.3	-0.8	-0.8	-0.3	0.2	0.7	0.2	-0.4
Коэффициенты девиации	A	B	C	D	E			
Значения коэффициентов (град)	-0.19	-0.50	-0.41	0.15	0.13			
Величина остаточной девиации								
Компасный курс (град)	0	15	30	45	60	75	90	105
Девиация (град)	-0.47	-0.53	-0.60	-0.55	-0.75	-0.81	-0.81	-0.75
Компасный курс (град)	150	165	180	195	210	225	240	255
Девиация (град)	-0.15	0.11	0.35	0.52	0.61	0.60	0.51	0.37
Компасный курс (град)	300	315	330	345				
Девиация (град)	-0.15	-0.27	-0.36	-0.42				

вычислительные операции сведены до одного арифметического действия: сложения, вычитания, умножения или деления. Однако проще и надежнее расчеты производить на персональном компьютере. При отсутствии специализированной программы расчета удобно использовать для этих целей известную программу обработки электронных таблиц Microsoft Excel. Один из возможных вариантов решения указанной задачи с помощью Microsoft Excel показан в таблице 5.1. В процессе программирования в ячейки таблицы со значениями расчетных величин вводятся расчетные формулы. После того, как будут введены значения измеренной на восьми курсах девиации МК, программа произведет полный расчет остаточной девиации. В дальнейшем не потребуется перепрограммирования таблицы. При изменении значений измеренной девиации достаточно ввести их в качестве исходных для расчета данных и значения остаточной девиации будут приведены в соответствие с этой исходной информацией.

Зависимость остаточной девиаций от курса судна может быть представлена и в графической форме. При этом в качестве аргумента может быть использован как магнитный, так и компасный курс судна. На практике удобно иметь такой график, который позволял бы без дополнительных вычислений по требуемому компасному курсу находить магнитный и наоборот, по требуемому магнитному - компасный. Один из возможных вариантов такого графика показан на рис. 5.20 [10].

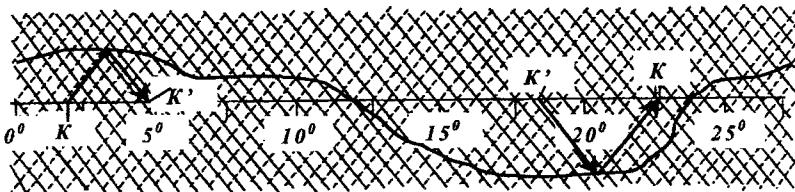


Рис.5.20

Вдоль горизонтальной оси на графике откладываются значения курсов судна. График имеет сплошную и пунктирную сетки. Если девиация определена на компасных курсах, то она в требуемом масштабе откладывается вдоль сплошной линии, а если на магнитных, то вдоль штриховой. Наиболее удобной является сетка, наклоненная к оси курсов под углом 60° . В этом случае обеспечивается равенство масштабов осей курса судна и девиации. Если масштаб шкалы девиации желательно увеличить, то угол между сплошными и пунктирными линиями необходимо сделать более острым. Количественную оценку значения угла α пересечения сплошных и штриховых линий для желаемого соотношения масштабов девиации M_δ и курса M_k можно найти, используя следующее равенство:

$$\sin 0,5\alpha = \frac{M_k}{2M_\delta}. \quad (5.44)$$

После построения графика для определения компасного курса K' при известном магнитном курсе K , на оси курсов находят значение магнитного курса и перемещаясь вдоль штриховой линии до пересечения с кривой девиации и далее вдоль сплошной линии до пересечения с линией курсов, определяют значение K' . Если задан курс K' , то перемещаясь от оси курсов вначале вдоль сплошной линии, а затем вдоль штриховой, находят значение магнитного курса K .

5.11. Особенности устранения девиации в индукционных компасах

В отличие от стрелочных магнитных компасов индукционные МК могут быть установлены в местах, в которых влияние судового железа на их показания минимальны. Это позволяет упростить девиационное устройство компаса или вообще не использовать его, автоматизировать процесс уничтожения де-

виации, а при отсутствии компенсаторов ограничиться оценкой поправки компаса, позволяющей исключить влияние на его показания судового железа.

Для устранения влияния полукруговой, креновой и электромагнитной девиации, как правило, используются три пары катушек Гельмгольца с взаимно перпендикулярными осями, в поле которых находится индукционный датчик. Четвертная девиация устраниется с помощью компенсаторов, выполненных из магнитомягких материалов. Определение величины составляющих текущей девиации обычно осуществляется по данным измерений, полученных в результате циркуляции судна. Измеряются по пять значений напряженностей X' и Y' судового магнитного поля на равноудаленных друг от друга курсах. Вычисление интересующих параметров производится процессором с использованием уравнений Пуассона (4.1).

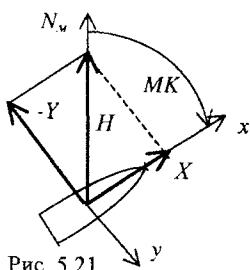


Рис. 5.21

Первые два из указанных уравнений могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} X' &= X(1+a) + bY + cZ + P, \\ Y' &= dX + Y(1+e) + fZ + Q. \end{aligned} \quad (5.45)$$

Учитывая, что

$$X = H \cos MK, \quad Y = -H \sin MK, \quad (5.46)$$

(рис. 5.21), перепишем равенства (5.45), подставив вместо X и Y их выражения (5.46):

$$\begin{aligned} X' &= H(1+a)\cos MK - bH \sin MK + cZ + P, \\ Y' &= dH \cos MK - H(1+e)\sin MK + fZ + Q. \end{aligned} \quad (5.47)$$

Для случая, когда девиация отсутствует

$$X' = H \cos MK, \quad Y' = H \sin MK. \quad (5.48)$$

Возводя левые и правые части каждого выражения (5.48) в квадрат и складывая их, получим уравнение, определяющее зависимость $Y'(X')$:

$$(X')^2 + (Y')^2 = H^2. \quad (5.49)$$

Нетрудно видеть, что это уравнение является уравнением окружности (рис. 5.22), радиус которой равен горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли.

5.11. Особенности устранения девиации в индукционных компасах

Если отсутствует только полукруговая девиация, то равенство (5.47) приобретает следующий вид:

$$X' = H(1-a)\cos MK - bH \sin MK, \quad (5.50)$$

$$Y' = dH \cos MK - H(1+e)\sin MK.$$

На плоскости параметров X' , Y' эти равенства определяют эллипс с полуосями

$$A = H(1+a+d), \quad B = H(1+b+e) \quad (5.51).$$

В этом нетрудно убедиться, если вдоль горизонтальной оси (рис. 5. 23) изобразить зависимость $Y'(MK)$, а вертикальной - $X'(MK)$ и для каждого MK_i

($i = 1, 2, \dots, n$) из области $0 - 360^\circ$ на плоскости X' ,

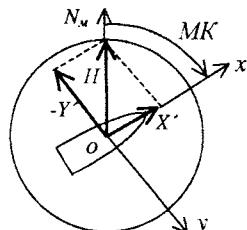


Рис. 5.22

Y' отметить точку с координатами X_i , Y_i (точки $1, 2, \dots, n$). Геометрическое место этих точек образует оговоренный выше эллипс.

Как видим, наличие четвертной девиации привело к преобразованию окружности в эллипс, причем в силу того, что четвертная девиация носит периодический характер, ее среднее значение за период равно нулю.

А это свидетельствует о том, что деформируя окружность значений H , четвертная девиация оставляет ее площадь неизменной. Указанное обстоятельство позволяет определить значение напряженности H земного магнитного поля, зная площадь эллипса, соответствующего вектору H' судового магнитного поля. Так, ес-

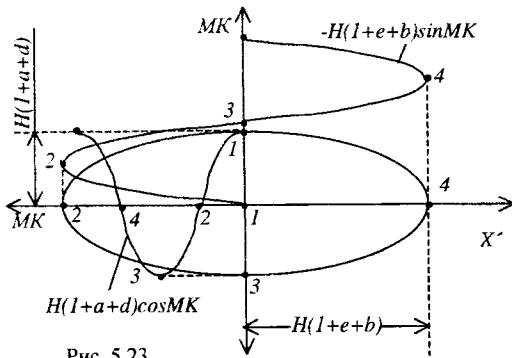


Рис. 5.23

вертная девиация оставляет ее площадь неизменной. Указанное обстоятельство позволяет определить значение напряженности H земного магнитного поля, зная площадь эллипса, соответствующего вектору H' судового магнитного поля. Так, ес-

ли длину полуосей эллипса обозначить через A и B , то

$$H = \sqrt{AB}. \quad (5.52)$$

В этих условиях разница $X' - H$ дает текущее значение четвертной девиации ΔX , а $Y' - H$ – четвертную девиацию ΔY .

Полукруговая девиация, как это следует из выражения (5.47), смещает центр эллипса на величину, равную $CZ+P$ вдоль оси oX' и равную $fZ+Q$ вдоль оси oY' . В общем случае большая ось эллипса также может быть повернута относительно оси oX' на некоторый угол a (рис. 5.24).

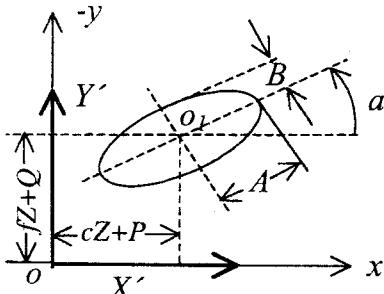


Рис. 5.24

равноудаленных друг от друга курсах. Используя уравнения (5.47) и измеренные значения напряженностей судового магнитного поля, вычисляются интересующие нас поправки

$$\Delta X = cZ + P + X' - H, \quad \Delta Y = fZ + Q + Y' - H. \quad (5.53)$$

Очевидно, что первые два слагаемых равенств (5.53) определяют влияние полукруговой девиации, а вторые два – четвертной.

Уничтожение креновой девиации в кардановых индукционных компасах осуществляется с помощью контуров с током по сигналам феррозонда с вертикальной осью чувствительности. Данный способ позволяет автоматически скомпенсировать креновую девиацию в любой широте в отличие от стрелочных МК, где ее уничтожение производится лишь для одного значения магнитного наклонения. В тех случаях, когда не используются компенсаторы креновой девиации, ее влияние уменьшается путем осреднения показаний компаса за определенный промежуток времени.



- 5.1. Какая девиация устраниается с помощью постоянных магнитов?
 - 5.2. Для чего используется дефлектор?
 - 5.3. Для чего используется в дефлекторе постоянный магнит?
 - 5.4. Возможно ли с помощью дефлектора измерить вертикальную составляющую земного или судового магнитного поля?
 - 5.5. Что измеряется с помощью судового инклинатора?
 - 5.6. На каких курсах устраниается полукруговая девиация а) способом Эри, б) способом Колонга?
 - 5.7. Какие судовые магнитные силы устраниются на курсах 0° и 180° при использовании а) способа Эри, б) способа Колонга?
 - 5.8. За счет чего возникает девиация от индукции?
 - 5.9. Что представляет собой безиндукционный компенсатор четвертной девиации?
 - 5.10. Что представляет собой котелок МК с легкой картушкой?
 - 5.11. За счет чего возникает широтная девиация МК?
 - 5.12. Каким образом ориентируется продольная ось широтного компенсатора?
 - 5.13. Чем устраниется креновая девиация?
 - 5.14. Для чего используется феррозонд с вертикальной осью чувствительности в карданных индукционных компасах?
-

Глава 6

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МАГНИТНЫХ КОМПАСОВ

6.1. Требования к размещению магнитных компасов

Основные требования к размещению магнитных компасов изложены в рекомендациях ISO 694 “Размещение магнитных компасов на борту судна” (приложение П-5). Они разработаны исходя из того, чтобы в процессе эксплуатации МК:

- был обеспечен свободный доступ к устройствам отображения информации о курсе судна;
- имелась возможность пеленгования различных объектов, расположенных вне судна;
- имелась возможность проведения девиационных работ;
- влияние судового магнитного поля на работу компаса было минимальным.

Степень влияния на компас судового магнитного поля существенно зависит от расстояния его чувствительного элемента до различных ферромагнитных элементов конструкции судна. В таблице 6.1 приведены рекомендуемые минимальные значения этих расстояний. Однако может случиться так, что при выполнении рекомендаций, приведенных в таблице, степень влияния судового железа все-таки оказывается недопустимо большой. В этом случае следует увеличить удаление компаса от источников магнитных полей или выбрать другое место расположения компаса.

Таблица 6.1

Рекомендуемые расстояния от котелка компаса до магнитных материалов

Назначение компаса	Расстояние до неподвижных материалов и материалов с изменяющимся магнитным полем, м					
	Наибольшая длина судна					
	до 30	от 40 до 80	83 и более	до 30	от 40 до 110	120 и более
Главный	1,5	1,75-2,9	3,0	2,0	2,2-3,7	4,0
Путевой главного поста	1,0	1,2-1,9	2,0	1,3	1,5-2,4	2,6
Путевой запасного поста	1,0	1,0-1,5	1,5	1,0	1,1-1,9	2,0

6.1. Требования к размещению магнитных компасов

Определение безопасных расстояний производится с учетом рекомендаций, проведенных в приложении П-5.

6.2. Состав проводимых работ

Точность определения курса с помощью МК, а также надежность работы прибора в значительной степени зависит от выполнения правил его эксплуатации, которые приводятся в сопровождающей данный прибор документации. Различные модели МК могут иметь специфические, присущие только им, эксплуатационные особенности, и это надо учитывать. Однако многие приемы работы с МК являются общими, что позволяет рассматривать их безотносительно к типу компаса.

Техническое обслуживание МК складывается:

- из оценки общего состояния прибора;
- из оценки текущих составляющих его инструментальной погрешности и приведения их значений в соответствие с требованиями технической документации на прибор;
- из работ, направленных на снижение влияния судового железа на показания компаса.

Основную нагрузку по обслуживанию МК берут на себя береговые специалисты. Однако, судовые специалисты должны:

- периодически определять поправку компаса и степень соответствия данных таблицы остаточной девиации реальным их значениям;
- при возникновении больших ошибок компаса определить причины, обусловившие их появление, и, при наличии технической возможности, устранить дефекты;
- в длительных рейсах, не реже одного раза в два – три месяца, проводить техническую проверку компаса, содержание которой определяется техническими условиями на прибор.

6.3. Оценка технического состояния прибора

Оценка технического состояния прибора предусматривает:

- проведение внешнего осмотра прибора;

- проверку технического состояния котелка МК;
- Проверку качества работы дистанционных систем передачи информации;
- Проверку устройств для регистрации (записи) информации, получаемой с МК или с единой курсовой системы, включающей в себя МК.

6.3.1. Внешний осмотр прибора

Для оценки общего состояния прибора необходимо, прежде всего, провести его **внешний осмотр**. Осмотр следует начать с места, где он установлен. Вблизи компаса не должны находиться посторонние предметы, особенно способные повлиять на его показания. После этого следует осмотреть сам компас, устранить имеющуюся коррозию, очистить его от грязи и отложившейся соли. Проверить состояние и крепление девиационных магнитов, разъемов и регуляторов электропитания, элементов оптической системы дистанционной передачи. Проверить освещение прибора.

6.3.2. Проверка технического состояния котелка МК

Компасный котелок и пеленгатор должны удовлетворять требованиям нормативных документов, выдержки из которых приведены в приложении П-5. В частности:

- в основной (верхней) камере не должно быть пузырьков воздуха;
- стекло компасного котелка должно быть чистым;
- азимутальный круг должен совпадать с горизонтальной плоскостью с точностью до 2^0 ;
- эксцентрикитеты пеленгатора и азимутальной шкалы не должны превышать 0,5 мм;
- визирная плоскость пеленгатора должна быть перпендикулярна азимутальному кругу и проходить через его середину (центр);
- отражающая грань призмы глазной мишени должна быть перпендикулярна визирной плоскости пеленгатора;
- застой чувствительного элемента компаса не должен превышать $(3/B)^0$, где B – горизонтальная составляющая индукции магнитного поля, выраженная в микротеслах.

6.3. Оценка технического состояния прибора

- общая погрешность компасного котелка и пеленгатора не должна превышать $0,5^{\circ}$;
- нактоуз компаса должен быть выверен.

Рассмотрим методику выполнения отдельных проверок и регулировок, которые можно проводить в судовых условиях.

Приступая к проверке котелка МК следует убедиться в отсутствии в нем пузырьков воздуха, которые могут затруднить съем информации. При их наличии удаление из котелка пузырьков воздуха, как правило, производится путем его поворота вокруг горизонтальной оси и покачивания с тем, чтобы эти пузырьки переместились в специальную полость 3 (рис.2.4), из которой они уже не смогут выйти обратно. В том случае, если размеры воздушного пузырька достаточно большие и его не удается удалить, то в котелок следует добавить некоторое количество компасной жидкости. Жидкость доливается с помощью специальной воронки через отверстие, имеющееся в корпусе прибора.

Проверка горизонтальности азимутального круга проводится с помощью пузырькового уровня, который накладывается на стекло котелка вначале параллельно диаметральной плоскости судна, а затем перпендикулярно ей. Если будет обнаружен наклон, необходимо вызвать береговых специалистов, которые устранит его. Устранение наклона обычно производится путем выверливания части балансировочного груза.

Далее следует осмотреть пеленгатор, обратив внимание на состояние нити предметной мишени. При наличии ее изгибов следует натянуть нить или заменить на новую. После этого необходимо провести проверку **положения визирной плоскости пеленгатора**. В судовых условиях она складывается из проверки положения предметной и глазной его мишеней. Нить предметной мишени и прорезь глазной должны располагаться в вертикальной плоскости. Проверку этих условий осуществляют путем пеленгования отвеса, удаленного на расстояние 3 - 4 метра от компаса. Для устранения обнаруженных отклонений под правую или левую лапки мишеней помещают прокладки из фольги.

Проверка картушки на застой. Как известно (п. 2.3), угол застоя картуш-

ки зависит от ее магнитного момента, величины напряженности горизонтальной составляющей магнитного поля Земли в данной точке и от момента трения в опоре подвеса картушки. Поэтому в технических условиях на прибор оговариваются не только значение допустимого застоя, но и величина напряженности магнитного поля, при которой должны проводиться измерения. Требуемое значение напряженности может быть получено посредством использования дефлектора, с помощью которого можно усилить или ослабить судовое поле.

Если специальные требования к углу застоя картушки не оговариваются, его оценку можно проводить при существующей напряженности судового магнитного поля, принимая во внимание требования ИМО.

Для измерения величины застоя с помощью какого-либо не сильного магнита отклоняют картушку компаса от установившегося положения на угол, равный 2 – 3 градусам. После этого магнит убирают, дают картушке успокоиться и снимают ее показания. Измерения повторяют при отклонении картушки в противоположную сторону. Полуразность показаний определяет искомую величину. При обнаружении недопустимого застоя следует заменить шпильку МК. Порядок замены шпильки определяется конструктивными особенностями прибора и эту работу лучше поручить береговым специалистам.

О пригодности котелка к эксплуатации можно судить по результатам **общей его проверки**, которая производится в береговых условиях в таком месте, где отсутствуют возмущающие магнитные поля, порождаемые близлежащими металлическими конструкциями и другими источниками постоянного магнитного поля. Критериями качества котелка являются вариации пеленга и курсового угла неподвижного ориентира, полученные в результате измерений, проведенных на восьми главных и четвертных курсах при последовательном приведении на них котелка, установленного на девиационной треноге. Вариации пеленга на ориентир определяют как разницу между магнитным пеленгом (или ОМП) и значением пеленга, полученного путем осреднения данных двух его измерений на данном курсе при подходе к нему с разных сторон. Аналогичным образом определяют вариации курсовых углов. Указанные параметры должны находиться в допустимых пределах. Если это не выполняется, котелок следует

6.3. Оценка технического состояния прибора

передать береговым службам для выяснения причин указанного несоответствия.

6.3.3. Проверка качества работы дистанционных систем передачи информации

Качество электромеханических систем дистанционной передачи информации обычно проверяется по соответствуанию требованиям технической документации:

- ее порога чувствительности (минимального сигнала рассогласования, при котором система начинает работать);
- времени отработки заданного угла рассогласования следящей системы;
- количества колебаний, которое совершают система после отработки угла рассогласования.

Все указанные параметры взаимосвязаны и при исправных элементах контура следящей системы могут быть отрегулированы путем изменения коэффициента его усиления.

Значение порога чувствительности можно определить путем отклонения ротора центрального реиттера от его равновесного положения на небольшой угол ($2^0 \div 3^0$). После этого следует дать системе возможность согласоваться. Задфиксировать показания центрального реиттера. Провести те же операции при отклонении ротора в противоположную сторону. Порог чувствительности определяется как полуразность двух полученных отчетов.

Для измерения времени отработки следящей системой заданного угла (обычно 90^0) отклоняют ротор центрального реиттера на этот или несколько больший угол. Затем включают следящую систему и производят необходимое измерение. После того как угол рассогласования будет отработан, считают количество колебаний, совершаемых системой до ее полного успокоения.

Наряду с указанным, следует проверить плавность изменения показаний реиттерами. Для этого с помощью магнита следует медленно и равномерно повернуть картушку МК на 360^0 по часовой стрелке и против, наблюдая, при этом, за движением шкал реиттеров. Направление их вращения должно совпадать с направлением вращения картушки, а само движение быть плавным, без рывков и остановок.

Состав проверки устройств для регистрации показаний МК зависит от типа этих устройств и оговаривается в технической документации на прибор.

6.4. Подготовка компаса для проведения девиационных работ

Подготовка МК для проведения девиационных работ включает в себя:

- проверку девиационного прибора компаса;
- Подгонку дефлектора к пеленгатору;
- Проверку и регулировку инклиноватора.

В судовых условиях первая проверка осуществляется путем внешнего осмотра девиационного устройства, в процессе которого следует убедиться в надежности крепления девиационных магнитов и отсутствии каких-либо механических повреждений.

6.4.1. Подгонка дефлектора к пеленгатору

Подгонка дефлектора к пеленгатору производится в том случае, если планируется проведение работ, направленных на снижение уровня полукруговой девиации способом Колонга.

Если используется дефлектор с равномерной шкалой, прежде всего, проверяется нулевое положение измерительных магнитов. Эта проверка производится в следующей последовательности [5]:

- Пеленгатор устанавливается на котелок так, чтобы отсчёт 180^0 (S) карточки находился под его призмой.
- Из дефлектора вынимается вспомогательный магнит и ручкой редуктора устанавливается нулевой отсчет.
- Дефлектор устанавливается на чашку пеленгатора таким образом, чтобы отсчёт по азимутальному кругу остался неизменным. Проверяется отсчёт под призмой пеленгатора, который должен остаться равным 180^0 .
- Если отсчет изменился более чем на 1^0 , нужно отвинтить колпачок на крышке дефлектора и вращением регулировочного винта подвести под призму пеленгатора отсчёт 180^0 . После этого колпачок и вспомогательный магнит устанавливаются на свои места.

Далее следует провести пригонку пеленгатора к дефлектору. Для этого необходимо [5]:

- Установить пеленгатор на отсчёт под призмой, равный 90^0 и заметить от-

6.4. Подготовка компаса для проведения девиационных работ

счёту по азимутальному кругу.

- Привести поворотом ручки редуктора до упора измерительные магниты в нулевое положение. Вспомогательный магнит должен быть установлен в предназначеннное для него гнездо.
- Установить дефлектор обычным порядком на чашку пеленгатора.
- Проверить неизменность положения пеленгатора (по отсчёту азимутального круга). Когда катушка успокоится, заметить отсчёт под призмой. Он должен отличаться от первоначального (до установки дефлектора) не более чем на $0,2^{\circ}$.
- Если отсчёт под призмой отличается от первоначального более чем на $0,2^{\circ}$, то с помощью пеленгаторного ключа ослабляют винты, крепящие чашку для дефлектора к мостику пеленгатора. Следя за тем, чтобы положение пеленгатора на котелке не изменилось, разворачивают чашку вместе с дефлектором в сторону отклонения картушки, добиваясь получения первоначального отсчёта с точностью $0,2^{\circ}$. После этого закрепляют чашку винтами, проверяя неизменность отсчёта под призмой и на азимутальном круге.

6.4.2. Проверка и регулировка инклиновата

Перед измерениями инклиноватор следует выверить на берегу. Сначала его проверяют на застой [5]. Инклиноватор подвешивают в вилку треноги и приближенно совмещают плоскость качаний магнитной системы с плоскостью меридиана. После того как магнитная система прибора придет в положение равновесия, замечают отсчет по шкале. Затем с помощью одного из магнитов, входящих в комплект прибора, отклоняют магнитную систему на $1,5—2^{\circ}$ в ту или иную сторону и, когда она вновь успокоится, замечают второй отсчет. Разность отчетов не должна превышать $0,3^{\circ}$. Проверку следует провести при отклонении магнитной системы в разные стороны.

Вторая выверка инклиновата предусматривает балансировку его магнитной системы. Для этого на берегу прибор устанавливают перпендикулярно плоскости магнитного меридиана и снимают первый отсчет. Затем поворачивают прибор в азимуте на 180° и снимают второй отсчет. Если полученные от-

счеты отличаются от 90^0 , то снимают стеклянную крышку и с помощью попечных балансировочных гаек доводят оба отсчета до 90^0 . После этого, установив инклинер в плоскости магнитного меридиана, с помощью второй пары балансировочных гаек, которые расположены на продольной оси магнитной системы, доводят отсчет по прибору до величины, равной фактическому значению магнитного наклонения в данном районе. Этим завершаются подготовительные работы.

6.5. Уничтожение полукруговой девиации в рейсе

Необходимость проведения девиационных работ в рейсе возникает в связи с выходом из строя основного курсоуказателя – гирокомпаса или в том случае, когда принятый на борт груз может повлиять на работу МК. Работу целесообразно начинать с определения девиации на восьми главных и четвертных курсах. Сравнение полученных данных с прилагаемой таблицей девиации дает возможность принять решение о характере необходимых дальнейших работ. Если отличия девиаций невелики, то дальнейшие работы можно не проводить, однако, целесообразно используя результаты измерений составить уточненную таблицу остаточной девиации. Если отличия значительны, то по измеренным данным следует построить график девиации, который покажет какая составляющая девиации превалирует и, следовательно, что необходимо предпринять для уменьшения погрешности.

Нередко отсутствуют условия или необходимость проведения девиационных работ в полном объеме по методикам, описанным выше. В этом случае можно воспользоваться упрощенными способами устранения девиации.

Если на судне имеется дефлектор, уничтожение девиации можно провести на двух главных магнитных курсах судна. Лучшие результаты будут получены, если работы проводить в следующей последовательности:

- лежь на магнитный курс 90^0 и продольными магнитами довести девиацию до нуля;
- Продолжая лежать на данном курсе совместить индекс пеленгатора с отсчетом 270^0 по азимутальному кругу и, поместив на чашку пеленгатора де-

- флектор, измерить напряженность судового магнитного поля H'_E ;
- лечь на противоположный магнитный курс, и с помощью продольных магнитов уменьшить наблюданную девиацию наполовину, уничтожив тем самым СМС $B'\lambda H$;
 - совместить индекс пеленгатора с отсчетом 90^0 по азимутальной шкале, установить на пеленгатор дефлектор и измерить напряженность поля H'_W на этом курсе;
 - используя методологию способа Колонга уничтожить на данном курсе вторую составляющую полукруговой девиации.

При отсутствии дефлектора и относительно небольшой составляющей четвертной девиации ее подуничтожение можно проводить на двух ортогональных магнитных курсах. При этом наблюдаемая девиация на каждом курсе устраняется полностью.

Имеется возможность устранения полукруговой девиации на ошвартованном судне [4]. Если в области чувствительного элемента компаса, у которого уничтожены постоянная (коэффициент A') и четвертная (коэффициенты D' и E') девиация, искусственно создать поле с напряженностью λH , направленное противоположно Земному полю, то на него будут влиять только продольная $B'\lambda H$ и поперечная $C'\lambda H$ составляющие напряженности магнитного поля судна, вызывающие полукруговую девиацию. Если затем воздействовать на ЧЭ другим искусственноенным полем, имитирующим горизонтальную составляющую магнитного поля Земли, и иметь возможность кругового поворота этого поля, то можно имитировать магнитные курсы судна, необходимые при уничтожении полукруговой девиации методом Эри. При этом судно продолжает быть ошвартованным у причальной стенки или у пирса. Таким образом, процесс циркуляции судна можно заменить круговым поворотом имитатора.

Достоинством данного метода является то, что после уничтожения полукруговой девиации можно, пользуясь тем же имитатором, экспериментально определить остаточную девиацию компаса с любой дискретностью, т.е. на любом количестве магнитных курсов, также на ошвартованном прежним курсом

судне, не прибегая к вычислениям или графическим построениям.

Проиллюстрируем вышеизложенное. В случае если $A=D=E=0$, на картушку компаса воздействует только вектор λH , направленный по магнитному меридиану, и векторы $B' \lambda H$ и $C' \lambda H$, направленные, соответственно, параллельно продольной x и поперечной y осям судна. Если вектор λH скомпенсирован и взамен создан вектор H_u , имитирующий среднее значение горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли, то на искусственно созданном магнитном курсе 0° девиация определится как

$$\delta_0 = \arctg \frac{C' \lambda H}{B' \lambda H + H_u} \quad (6.1)$$

С помощью девиационного прибора можно, пользуясь компенсатором C , уменьшить девиацию δ_0 до нуля. При этом сила $C' \lambda H$ будет скомпенсирована.

После поворота вектора имитирующего поля на 90° , т.е. имитации нахождения судна на магнитном курсе 90° , девиация будет

$$\delta_{90} = \arctg \frac{B' \lambda H}{H_u}. \quad (6.2)$$

С помощью компенсатора B девиационного прибора можно уменьшить девиацию δ_{90} до нуля. При этом будет скомпенсирована сила $B' \lambda H$.

После этого, направляя вектор имитирующего поля поочередно в ряд азимутальных направлений, можно имитировать нахождение судна на соответствующих магнитных курсах и наблюдать остаточную девиацию на этих курсах. Для приведения значений остаточной девиации к магнитным условиям района ее уничтожения, значения остаточной девиации следует умножить на коэффициент, равный отношению $\lambda H / H_u$. Необходимо отметить, что девиационные работы при использовании любого из изложенных методов следует проводить на судне, ошвартованном на расстояниях от других судов, не менее чем их удвоенные длины. На причальной стенке или пирсе не должны находиться в период работы грузовые краны и другие стальные конструкции.

6.6. Измерение магнитного наклонения

6.6.1. Измерение магнитного наклонения на берегу

Измерение магнитного наклонения на берегу рекомендуется [5] проводить в следующей последовательности:

- С помощью компасного котелка, установленного в вилку треноги, определить положение магнитного меридиана: повернуть вилку с котелком так, чтобы ее подщапфные колодки (опоры) располагались в плоскости магнитного меридиана.
- Установить в вилку взамен компасного котелка судовой инклинер (при этом плоскость качаний магнитной системы прибора и его диска со шкалой будет располагаться в плоскости меридиана).
- Через 1—1,5 мин, когда магнитная система придет в положение равновесия, взять отсчет по шкале. Этот отсчет будет соответствовать величине магнитного наклонения в данной точке поверхности Земли.

При измерении наклонения можно поступить и несколько иначе: не пользоваться котелком и треногой, а, удерживая инклинер в руках за цапфы, медленно поворачивать прибор вокруг вертикальной оси и следить за его показаниями. Минимальный отсчет магнитной системы по шкале укажет величину магнитного наклонения.

6.6.2. Измерение магнитного наклонения на судне

Измерения магнитного наклонения на судне производятся по методике, аналогичной описанной, в следующей последовательности:

- Лечь на тот магнитный или компасный курс, на котором требуется измерить величину судового наклонения.
- Убрать из нактоуза котелок компаса и установить на его место инклинер, используя входящие в комплект прибора съемные цапфы и опоры. Инклинер необходимо установить в нактоуз так, чтобы плоскость качаний его магнитной системы находилась в плоскости компасного меридиана.
- По прошествии 1—1,5 мин взять отсчет по шкале прибора.



- 6.1. Какие основные работы с компасом должны проводиться судовыми специалистами?
 - 6.2. Из чего складывается в судовых условиях оценка технического состояния котелка МК?
 - 6.3. По каким параметрам оценивается качество работы электромеханической системы дистанционной передачи информации?
 - 6.4. Из чего складывается подготовка дефлектора к измерениям?
-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку МК и дальше будет играть роль резервного курсоуказателя, что предусматривается разрабатываемыми резолюциями ИМО, он будет постоянно совершенствоваться. И здесь основные усилия, по-видимому, будут направлены на:

- разработку бесконтактной системы подвеса картушки компаса или системы с минимальным уровнем моментов сил сухого трения в ее опоре;
- улучшение динамических характеристик картушки и адаптацию их к изменению широты места судна;
- дальнейшее развитие систем автоматического устранения влияния судового магнитного поля на показания компаса;
- повышение надежности индукционных компасов и систем дистанционной передачи информации;
- дальнейшую микроминиатюризацию используемой схемотехники;
- снижение мощности, потребляемой изделием;
- применение встроенных энергоемких аккумуляторов, обеспечивающих автономное электропитание компасов в течение длительного времени (нескольких суток).

Все это будет способствовать решению основной задачи, направленной на повышение безопасности мореплавания.

ПРИЛОЖЕНИЯ**П.1. Основные параметры, характеризующие магнитное поле**

Как известно, магнитное поле возникает в результате упорядоченного движения заряженных элементарных частиц в твёрдом намагниченном теле или проводнике с током. Оно является силовым и, следовательно, векторным полем.

В зависимости от носителя (источника) магнитного поля оно может иметь различную конфигурацию и величину. Пространственную структуру поля характеризуют магнитными силовыми линиями, представляющими собой замкнутые кривые, вдоль которых, как это принято считать, распространяется магнитный поток.

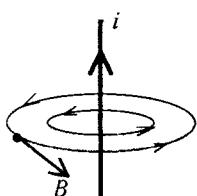


Рис. П1

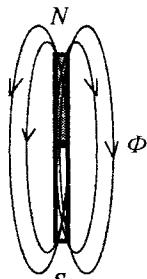


Рис. П2

Если поле образовано проводником с током i (рис. П 1), то эти линии в однородной среде являются концентрическими окружностями, лежащими в плоскости, перпендикулярной оси проводника. При этом считается, что магнитный поток замыкается, перемещаясь против часовой стрелки, если смотреть на указанную плоскость в направлении, противоположном движению тока (с конца стрелки i). Если поле создаётся прямолинейным намагниченным стержнем (рис. П2), то силовые линии будут выходить из его северного полюса N и входить в южный, замыкаясь внутри магнита.

Совокупность силовых линий образует магнитный поток Φ , величина которого измеряется в веберах. В соответствии с определением международной электротехнической комиссии [1] за 1 Вебер принимается поток, который при убывании до нуля за одну секунду индуцирует в электрической цепи электродвижущую силу в 1 вольт.

$$1 \text{ Вб} = 1 \text{ } B \cdot c$$

Это достаточно крупная единица и на практике чаще используют милливеберы и

П.1. Основные параметры, характеризующие магнитное поле

микровеберы.

Магнитный поток может иметь различную площадь поперечного сечения, от которой зависит его плотность B . Последняя определяется отношением потока Φ , равномерно распределённого на площади S своего поперечного сечения, к этой площади:

$$B = \frac{\Phi}{S} [B\text{б}/m^2].$$

Величина B получила название *магнитной индукции* и измеряется в *tesлах* [Тл]:

$$1 \text{ Тл} = 1 \text{ Вб}/m^2 = 1 \text{ В с}/m^2.$$

Индукция магнитного поля является векторной величиной, вектор B касателен к магнитной силовой линии и направлен по её ходу (рис. П1).

Важной характеристикой магнитного поля является его *напряжённость* H . За единицу напряжённости в 1 ампер на метр [A/m] принимают такую напряжённость, которая создаётся бесконечно длинным, тонким проводником с током в 1А на удалении от него в 1м.

Параметры B и H связаны между собой через магнитную проницаемость среды:

$$B = \mu\mu_0 H, \quad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн}/\text{м}$ – магнитная проницаемость вакуума, μ - относительная магнитная проницаемость среды, в которой распространяется магнитное поле.

Для воздуха $\mu = 1$.

Поскольку сила, действующая на проводник с током или на полюс магнита пропорциональна B или H того поля, в которое они помещены, эти параметры часто называют *магнитными силами*. К тому же, в устаревшей системе единиц СГС напряжённость определяли как силу, которая действует на единицу магнетизма, помещённую в интересующую нас точку поля, и измеряли её в *эрстедах* [Э] ($1 \text{ A}/\text{м} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ Э}$). Поле, напряжённостью в 1Э действовало на единицу магнетизма силой в 1 дину = 10^{-5} ньютона. Всё это позволяет единице магнетизма приписать такому носителю магнитного поля (будем его в дальнейшем условно называть *единичной магнитной массой*), на который поле, напряжённостью в $1 \text{ A}/\text{м}$, будет действовать силой, равной $4\pi \cdot 10^{-8}$ ньютона.

Известно, что на две точечные магнитные массы m_1 и m_2 , расположенные на расстоянии r друг от друга, будет действовать сила, определяемая следующей зависимостью:

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}. \quad (2)$$

Если одна из этих масс, например m_1 , единичная, то сила F будет представлять собой напряжённость магнитного поля в точке, куда помещена масса m_1 :

$$F = H = \frac{m_2}{r^2}. \quad (3)$$

Существует скалярный параметр, характеризующий магнитное поле. Этим параметром является магнитный потенциал U . Он определяется работой, которую нужно совершить для перемещения единичной магнитной массы из бесконечности в рассматриваемую точку поля. Элементарное изменение потенциала dU на участке dr можно найти, используя следующее выражение:

$$dU = -H dr \quad (4)$$

Здесь знак минус ставится потому, что работа совершается не силой, а на преодоление силы. Если напряжённость H создаётся точечной магнитной массой m , то, учитывая выражение (3), можно записать:

$$dU = -m \frac{dr}{r^2}. \quad (5)$$

Интегрируя выражение (5), найдём значение магнитного потенциала в точке, удалённой от источника поля на расстояние r :

$$U = -m \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = \frac{m}{r}. \quad (6)$$

В том случае, когда вектор H имеет в некоторой ортогональной системе координат, определяемой ортами \vec{i} , \vec{j} и \vec{k} , три компоненты X , Y , Z , и мы перемещаем единичную массу на расстояние

$$d\vec{r} = dx \cdot \vec{i} + dy \cdot \vec{j} + dz \cdot \vec{k}, \quad (7)$$

изменение потенциала dU будет равно:

$$dU = -X dx - Y dy - Z dz. \quad (8)$$

П.2. Магнитные свойства ферромагнитных тел

Рассматривая это выражение как дифференциал функции трёх переменных можно установить следующую связь между составляющими напряжённости и магнитным потенциалом поля:

$$X = -\frac{\partial U}{\partial x}, \quad Y = -\frac{\partial U}{\partial y}, \quad Z = -\frac{\partial U}{\partial z}. \quad (9)$$

Из полученных равенств видно, что частные производные от магнитного потенциала по координатам, взятые со знаком минус, равны проекциям напряжённости магнитного поля в данной точке на соответствующие координатные оси.

П.2. Магнитные свойства ферромагнитных тел

Все ферромагнитные материалы можно разделить на две большие группы - *магнитотвёрдые* и *магнитомягкие*. Магнитотвёрдые материалы имеют широкую петлю гистерезиса, в результате чего после их намагничивания они хорошо сохраняют магнитное поле и практически не размагничиваются внешними магнитными полями. Из такого материала изготавливают постоянные магниты, используемые в картушке МК и для устранения его девиации.

Магнитомягкие материалы имеют узкую петлю гистерезиса и поэтому сильно подвержены влиянию внешних магнитных полей, которые достаточно легко их перемагничивают и размагничивают.

Всякое намагниченное тело или контур с током обладают *магнитным моментом* M_m . Магнитный момент замкнутого контура электрического тока равен произведению силы тока на площадь контура и направлен перпендикулярно к плоскости контура так, что из его конца ток виден текущим против часовой стрелки. Измеряется магнитный момент в амперах на квадратный метр ($A \cdot m^2$).

В случае если намагниченное тело можно представить в виде диполя, на концах которого сосредоточены магнитные массы $+m$ и $-m$, то магнитный момент этого диполя определится равенством:

$$M_m = 2m \cdot l, \quad (10)$$

где l - половина расстояния между магнитными полюсами. Для определения магнитного момента тела произвольной формы его можно рассматривать как

суммарный момент совокупности элементарных диполей, определяющих магнитное состояние этого тела.

Магнитное состояние твёрдого тела может определяться его *намагченностью*. Намагченностью или интенсивностью намагничивания j называется предел отношения магнитного момента некоторого объёма V вещества к этому объёму, когда последний стремится к нулю:

$$j = \lim_{v \rightarrow 0} \frac{M_\mu}{V}. \quad (11)$$

Если тело намагнично равномерно,

$$j = \frac{M_\mu}{V}. \quad (12)$$

Магнитные материалы не одинаково намагничиваются при воздействии на них одинаковых магнитных полей. Всё зависит от их *магнитной восприимчивости* χ . Последняя определяется отношением намагченности, которое приобретает тело под действием поля, напряжённостью H , к величине этого поля:

$$\chi = \frac{j}{H}. \quad (13)$$

Магнитная восприимчивость вещества зависит не только от свойств материала, из которого оно сделано, но и от геометрических его размеров. Тело намагничивается легче вдоль его большего размера. Так, если мы намагничиваем брускок цилиндрической формы, у которого длина больше диаметра, то магнитная восприимчивость материала будет больше, если его намагничивать вдоль образующей, причём она будет расти с увеличением отношения длины к диаметру бруска. Это позволяет считать, что тонкие и длинные материалы имеют только продольную намагченность.

П.3. Основные параметры стрелочных магнитных компасов

В таблице 1 приведены основные параметры наиболее поздних моделей отечественных магнитных компасов с подвижной картушкой, а в таблице 2 - более ранних моделей. В них приняты следующие обозначения:

П.3. Основные параметры стрелочных магнитных компасов

- Н – непосредственный отсчёт с картушкой компаса,
- О – отсчёт с помощью оптической системы дистанционной передачи информации,
- ЭМ – отсчет с помощью электромеханической системы дистанционной передачи информации,
- Эл – электрическое освещение шкалы компаса
- Мф – освещение шкалы компаса с помощью масляного фонаря.
- * – нет данных.

Таблица 1

Основные технические параметры МК с картушкой

Технический параметр	KM145-C1	KMC160-01	KM115	KM110-02	KMC100	Галс
Назначение	Крупнотоннажные суда	Путевой, средний тоннаж	Средний, малый тоннаж	Малые суда	Малые суда	Малые суда
Диаметр картушки (мм)	145	125	115	110 (видимый)	65	48
Магнитный момент (Am^2)	2	1,2	1,9	*	0,3	0,07
Цена деления (град)			1		5	5, крена 15
Количество магнитов	6	4	1 кольцевой	*	1 кольцевой	2
Угол застоя картушки (град)	0,2	0,3	0,2	0,5	*	*
Период собственных колебаний (с)	38	28	20	*	6-8	нет
Погрешность (град)	1	*	1	*	*	*
Поддерживающая жидкость	PMS-5	Спиртоглицериновая		PMS-5		

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 2

Параметр	Тип прибора	КМ-69 3	КМ-100-1 КМ-100-2 КМ-100-4"	УКПМ	КМО-Г	Сектор	Суда разных классов		
							КМ-145-1 КМ-145-2	КМ-145-3 КМ-145-4	КМ-145-5 КМ-145-6
Область применения	Катера СИК	Шлюпки яхты	Маломеры						
Съём информации	Н	*	Н	Н ₂ O	H ₂ O ₂	H	Н, ЭМ	Н ₂ O	H ₂ O ₂
Диаметр картушки [см]	69	100	127			145			
Цена деления шкалы картушки [град.]	2			1					
Магнитный момент картушки /A·m ² /	*	*	*		1,5			2	
Максим. потрешность измерения курса [град.] на исподвижном судне на подвижном судне		1	4				0,5	2	
Застой картушки [град.]	0,5	0,3					0,2		
Количество магнитов в картушке	2		4				6		
Поддерживаемая жидкость	34% раствор этанола	ПМС-5 (ГОСТ 13032-77)		64% раствор этилового спирта			ПМС-5 (ГОСТ 13032-77)		
Осветительное устройство	Эл.	МФ	MФ, Эл. 24В, 27В	Судовая сеть 12/220 В, напряжением 24 В					
Диапазон рабочих температур [град.]	*	От -40 до +60		От -26 до +50	Для котелка от -40 до +60; для остальных приборов комплекта - от -10 до +50				
Допустимая качка [град.]: Бортовая	*	45		*	*		30		
Кильевая	*	22,5					10		
Допустимая скорость циркуляции [град/с]	*	20			*				
Вес комплекта [кг]	*	Менее 20	38 (1,4) 17 (2)	*			В зависимости от комплектации	6	

П.4. Основные технические параметры индукционных компасов

П.4. Основные технические параметры индукционных компасов

В таблице 3 приведены основные технические параметры морских индукционных компасов.

Таблица 3

Основные технические параметры индукционных компасов

Технический параметр	Аврал	ДС-83 Горизонт	VDO Navpack (Великобрит.)	MagTronic Ritchie (США)
Состав чувствительного элемента: Феррозондов Акселерометров	3 нет	3 3	1 кольцевой нет	3 3
Установка индукционного датчика	Карданов подвес	бескардановая	Карданов подвес	бескардановая
Погрешность определения курса (град)	2 - 5	1 - 5	1	0,2
Диапазон регистрации отклонений от заданного курса (град)	нет	±15	±5	±15
Диапазон измерения углов качки судна (град)	нет	45	нет	○
Погрешность измерения углов качки судна (град)	нет	0,8 - 7	нет	○
Диапазон компенсации полукруговой девиации (град)	±60 $H=9,6A/m$	Учет девиации	Учет девиации ±45	Учет девиации
Диапазон компенсации креновой девиации (град)	±60	Осреднением показаний	Осреднением показаний	Осреднением показаний
Диапазон компенсации четвертной девиации (град)	±2	Учет девиации	Учет девиации	Учет девиации
Отображение информации	Цифровой дисплей	Цифровое, аналоговое	Цифровой дисплей	Цифровое, аналоговое
Дискретность отсчета (град)	0,1		1	
Напряжение питания	○	220/110В 50Гц; =24 В	=12 В	=12, 24 В

П.5. Основные требования нормативных документов

В данном приложении приведены нормы из четырех нормативных документов [4]:

- Резолюция IMO A.382 (X) от 14 ноября 1977 г. Магнитные компасы. Требования и эксплуатационные стандарты.
- Рекомендации ISO/R 694:1968. Размещение магнитных компасов на борту судна.
- Стандарт ISO 449:1979. Магнитные компасы и нактоузы. Класс А.
- Стандарт ISO: 1996. Морские электромагнитные компасы.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Резолюция IMO A.382 (X)

В приложении 1 к Резолюции приведены требования по обеспечению судов стрелочными магнитными компасами.

В приложении 2 - эксплуатационные требования к компасам.

Из приложения 1.

Рекомендуется гарантировать, что все суда снабжены:

- главными магнитными компасами;
- путевыми магнитными компасами в случае, если изображение шкалы главного магнитного компаса не является четким и доступным для рулевого, находящегося на главном посту управления рулем;
- средствами связи между местом размещения главного компаса и поста управления;
- запасным котелком для главного компаса, если судно не имеет путевого компаса или гирокомпаса.

Магнитный компас должен иметь компенсатор девиации, а таблица остаточной девиации должна находиться все время на борту судна вблизи компаса.

Примечание: В случае, если администрация считает, что характер плавания вблизи берегов или тип судна не требуют наличия главного компаса, на судах во всех случаях должен быть путевой компас.

Из приложения 2.

Сектор картушки главного компаса, передаваемый оптической передачей при дневном или искусственном освещении не должен быть менее 15° по обе стороны от курсового указателя.

Картушка компаса должна быть проградуирована на 360° с оцифровкой через каждые 10° от Севера (000°) по часовой стрелке. Главные румбы обозначены *N, E, S, W*.

Суммарная погрешность (неточность градуировки, эксцентриситет и неточность ориентации относительно магнитной системы) не должна превышать $0,5^\circ$ на любом курсе.

Показания картушки должны легко считываться с расстояния 1,4 м.

Материалы магнитной системы ЧЭ и магнитов компенсатора девиации должны иметь коэрцитивную силу не менее $11,2 \text{ кА} \cdot \text{м}^{-1}$.

Все остальные материалы, используемые в компасе и нактоузе (кроме компенсатора девиации), не должны создавать девиацию более $(9/B)^\circ$, где B горизонтальная составляющая индукции в микротеслах в месте нахождения компаса.

Магнитный компас должен быть работоспособен при любых погодных условиях, в которых находится судно.

Конструктивные погрешности

При вращении компаса со скоростью $1,5^\circ/\text{s}$ и температуре (293 ± 3) К отклонение картушки с диаметром менее 200 мм от меридиана должно быть не более $(36/B)^\circ$, с диаметром 200 мм и более $(54/B)^\circ$.

Погрешность от трения не должна превышать $(3/B)^\circ$ при температуре (293 ± 3) К.

Полупериод колебаний картушки при $B = 18 \text{ мкТ}$ должен быть не менее 12 с после начального отклонения на 40° . Время возврата в зону $\pm 1^\circ$ от меридиана не должно превышать 60 с после отклонения на 90° (только для апериодических компасов).

Корректирующее устройство

На нактоузе должны быть устройства для компенсации полукруговой и четвертной девиации, вызываемой:

- горизонтальными составляющими постоянного магнитного судна;
- вертикальной составляющей постоянного магнетизма;
- горизонтальной составляющей индуцированного горизонтального и вертикального магнетизма.

Шестерная девиация и высших порядков должна быть мала.

Конструкция

Основное и аварийное освещение должны обеспечивать возможность считывания показаний картушки в любое время суток.

Кроме освещения, для работы компаса не должен требоваться источник электроэнергии.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Если у главного компаса имеется электрическая передача показаний, выполняющая функции путевого компаса, то передающая система должна быть обеспечена основным и аварийным источниками питания.

Котелок главного и путевого компасов должен быть установлен в кардановом подвесе так, чтобы его азимутальное кольцо оставалось в горизонтальной плоскости, если есть крен нактоуза до 40° в любом направлении. Котелок не должен смещаться при любом волнении моря.

Если котелок не имеет карданова подвеса, то картушка должна быть свободна при крене не менее 30° в любом направлении.

Материал, используемый для изготовления компасов, должен быть прочным и подлежит согласованию с администрацией.

Требования к расположению соответствуют рекомендациям ISO/R 694:1968.

Стандарт ISO 449:1979. Магнитные компасы и нактоузы. Класс А.

Требования к маркировке

Название	Место нанесения названия предприятия-изготовителя	Место для серийного номера
Котелок	Картушка Азимутальное кольцо	Картушка Азимутальное кольцо
Нактоуз	В любом месте	Не требуется
Пеленгатор	На лицевой стороне основания	На лицевой стороне основания

Если в качестве жидкости используется не спирт, то тип жидкости следует указать на котелке возле заливной пробки.

Конструкция и материалы

Все материалы, используемые в компасе, за исключением магнитной системы и компенсаторов девиации, должны быть немагнитными.

Расстояние между курсовым указателем и краем картушки для компаса с прямым считыванием должно быть от 1,5 до 3,0 мм, для компаса с оптической передачей от 0,5 до 1,5 мм. Ширина курсового указателя должна быть не более 0,5 деления картушки. Конструкция курсового указателя должна быть такой, чтобы рулевой мог считывать показания при наклоне котелка с кардановым подвесом на 10° , для котелка без карданова подвеса на 30° .

Край картушки, курсовой указатель, если он горизонтален, острье шпильки, оси карданова подвеса должны быть расположены на расстоянии не более 1 мм от плоскости, проходящей через центры осей, связанных с котелком.

Оси карданова подвеса должны быть взаимно перпендикулярны с точностью до 1° . Внешняя ось должна находиться в продольной плоскости судна.

Толщина верхнего и нижнего стекол котелка должна быть не менее 4,5 мм из обычного и 3 мм из прочного стекла. Для полусферических компасов это требование сохраняется.

Компас должен работать в диапазоне температуры от -30 до $+60^\circ\text{C}$. Жидкость должна быть прозрачной, без пузырьков, не эмульгировать, не замерзать. В котелок не должен проникать воздух. Если воздух используется для компенсации изменений объема жидкости, то он не должен мешать работе компаса и считыванию с него показаний. Внутренний слой окраски котелка не должен деформироваться и обесцвечиваться.

Поддерживающая сила в опорном устройстве должна быть такой, чтобы ЧЭ всегда находился в контакте с острием шпильки.

Картушка не должна деформироваться.

Котелок компаса должен быть уравновешен так, чтобы его верхнее стекло оставалось в горизонтальной плоскости в пределах 2° . Пеленгатор или компасная лупа не должны влиять на равновесие котелка.

Установка

Котелок должен быть установлен так, чтобы его азимутальное кольцо оставалось горизонтальным при наклоне нактоуза до 40° в любом направлении, его крепление должно быть надежным при любом волнении моря. Подшипники внешних и внутренних осей карданова подвеса должны быть одного типа.

В компасах без карданова подвеса свобода наклона ЧЭ должна быть не менее 30° .

Чувствительный элемент

Моменты инерции ЧЭ относительно всех горизонтальных осей, проходящих через его точку опоры, должны быть одинаковыми.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ЧЭ должен находиться в горизонтальном положении и оставаться свободным при наклоне котелка в любом направлении на 10° .

После начального отклонения ЧЭ от магнитного меридиана на 40° при температуре $(20\pm3)^\circ\text{C}$ полупериод колебаний должен быть не менее $\sqrt{2600/B}$, где B - горизонтальная составляющая, мкТ.

Примечание. Полупериод измеряется между двумя первыми последовательными положениями ЧЭ в плоскости меридиана.

Время затухания колебаний при апериодическом ЧЭ при начальном отклонении на 90° должно быть не более $\sqrt{5760/B}$.

Наклон ЧЭ под действием вертикального поля не должен превышать $(0,5+0,03\Delta Z)^\circ$, где ΔZ абсолютная разность индукции вертикального поля, мкТ.

Градуировка

Градуировка картушки (см. Резолюцию IMO). Дистанция считывания показаний должна быть не менее 1,4 м. Градуировка шкалы азимутального кольца для измерения курсовых углов относительно носу судна должна быть выполнена на 360° по часовой стрелке. Отсчет 0° по индексу пеленгатора должен соответствовать направлению носа судна.

Точность

В компасах, кроме дистанционных, курсовая погрешность не должна превышать $0,5^\circ$ на любом курсе.

Погрешность положения курсового указателя не должна превышать $0,5^\circ$.

Погрешность от трения (см. Резолюцию IMO).

Погрешность после циркуляции на 180° со скоростью $6^\circ/\text{с}$ не должна превышать $(108/B)^\circ$. Погрешность при скорости $1,5^\circ/\text{с}$ (см. Резолюцию IMO).

Значение коэффициента H от индукции должно быть не больше $H/D \leq 0,08$.

Центр пеленгатора должен совпадать с осью острия шпильки с погрешностью не более 0,5 мм.

Экцентризитет центра градуировки азимутального кольца должен быть не более 0,5 мм относительно оси острия шпильки.

Нактоуз типа A-1

Высота нактоуза должна быть такой, чтобы магнитная система ЧЭ находилась на расстоянии от палубы не менее 1,0 м.

Нактоуз и все его детали должны изготавливаться из немагнитных материалов высокого качества и прочности.

Должна быть обеспечена возможность поворота нактоуза относительно диаметральной плоскости судна на угол от 4 до 6°.

Компенсаторы девиации

Магниты должны иметь высокую остаточную индукцию и коэрцитивную силу (см. Резолюцию IMO). Материал, используемый для компенсации индукционных полей, должен обладать высокой проницаемостью, малой коэрцитивной силой и остаточной намагниченностью.

Компенсатор составляющих горизонтального постоянного поля судна должен обеспечивать компенсацию коэффициентов В и С (720/В). Любой магнит компенсатора должен находиться на расстоянии от ЧЭ, не меньше, чем двойная длина магнита.

Компенсатор креновой девиации должен обеспечить вертикальное поле в области ЧЭ в диапазоне от +75 до -75 мкТ.

Верхний конец магнитов компенсатора должен находиться от ЧЭ на расстоянии не менее двойной длины магнитной системы ЧЭ.

Компенсатор горизонтальных индуцированных полей должен компенсировать коэффициент D до 10°.

Компенсатор широтной девиации должен быть расположен так, чтобы верхний срез его стержней был на уровне магнитной системы ЧЭ.

Компенсаторы девиации должны иметь фиксирующие устройства.

Если судно имеет обмотки размагничивания, то в нактоузе могут быть компенсирующие катушки.

Погрешность нанесения продольных меток на нактоузе относительно вертикальной плоскости, проходящей через оси продольных подшипников, не должна превышать 0,5°.

Нактоуз типа A-2

Высота нактоуза не регламентируется.

Остальные требования совпадают с требованиями к нактоузу типа А-1 (коэффициент D может быть не менее 7°).

Пеленгаторы

Поле зрения должно быть не менее 5° по обе стороны от линии визирования. Должна быть обеспечена возможность брать пеленги и курсовые углы небесных тел и удаленных предметов, находящихся между 5° ниже и 60° выше горизонта.

Для пеленгатора с мишенями должна быть обеспечена возможность измерять пеленги удаленных предметов, высота которых находится на 5° ниже и на 30° выше горизонта.

Обозначение

Компасы, удовлетворяющие данному международному стандарту, должны иметь обозначения: тип компаса (визуальный, передающий); номер данного стандарта; тип нактоуза; диаметр картушки.

Рекомендации ISO R 694.

Размещение магнитных компасов на борту судна

Рекомендации касаются компасов, указанных в стандартах ISO 449 (см. выше) и ISO 613 «Магнитные компасы, нактоузы и пеленгаторы. Класс В.»

Рекомендации, касающиеся минимальных расстояний от компаса до магнитных материалов (расстояния защиты), необходимы для нормальной навигации.

Расстояния защиты назначены для магнитного, электрического оборудования и индуктивных контуров как минимальные расстояния для устранения или значительного уменьшения их взаимодействия, влияющего на магнитный компас (МК).

Гарантии точности МК в большой степени зависят от их размещения на судне и близости к ним электрического и магнитного оборудования.

Различные степени гарантий точности допускаются в зависимости от назначения МК и зависят от длины судна, на котором установлен МК.

Назначения МК

Нижеприведенное описание назначений МК не учитывает размещение на судне одного или нескольких гирокомпасов. Наличие гирокомпаса не должно никоим образом снижать ожидаемую точность эталонного (главного) МК, который является основным средством навигации.

Эталонный (главный) компас

МК является основным средством навигации. Если имеется один компас, то он является эталонным. Такой компас или его репитер должен быть расположен вблизи от поста управления так, чтобы линия горизонта была бы максимально видна для пеленгования. В секторе 115° по носу судна видимая линия горизонта может прерываться только мачтами, грузовыми стрелами, подъемными кранами и т.п.

Путевой компас

Путевой компас является основным прибором для управления судном. Если главный компас расположен на верхнем мостике, то изображение его шкалы может быть использовано в качестве путевого компаса.

Вспомогательные и аварийные МК

Путевой МК, расположенный в рулевой рубке, в которой имеется изображение шкалы главного МК, является вспомогательным.

Аварийный МК - это компас, расположенный в районе управления судном после аварии или невозможности использования остальных средств.

Специальные магнитные датчики используются для вспомогательной навигации.

Определение минимальных расстояний, зависящих от конструкции судна

Главный компас должен быть установлен так, чтобы место его установки по отношению к магнитным материалам, которые являются элементами конструкции судна, соответствовало указанным в таблицах 6.1 и 5.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 5

Наименьшие расстояния от компаса до судовых конструкций для судов, длиной до 60 метров

Назначение компаса	Расстояние до магнитных материалов, м				
	до 20	30	40	50	60
Главный	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0
Путевой главного поста	1,0	1,0	1,0	1,1	1,3
Путевой запасного поста	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Примечание. Расстояния, указанные в таблицах, являются минимальными. Имеются случаи, когда массы железа, расположенные на расстояниях, указанных в таблице, таковы, что МК не работает нормально. В этих случаях расстояния должны быть увеличены.

Для путевых МК расстояния могут быть сокращены до 65% от указанных в таблице. Для вспомогательных МК и магнитных датчиков эти расстояния могут быть уменьшены до 50% от расстояний, указанных для главного МК, но не менее 1 м. Для аварийных МК минимальное расстояние 1 м.

Для путевых компасов расстояния до палубы под МК может быть сокращено до 1 м, если расстояние до края стальной палубы, перегородок и стальных балок не менее 65% от расстояния, указанного для главного МК.

Неподвижные элементы должны учитываться как элементы судна.

Под трубой понимают часть трубы или выхлопную трубу, которая нагревается. Внешняя оболочка трубы может быть рассмотрена как неподвижный магнитный материал.

Подвижные магнитные элементы, расположенные рядом с путевым МК, например органы аппаратуры управления, не должны влиять на показания такого МК.

Путевой МК не должен быть размещен в рулевой рубке, полностью сконструированной из магнитных материалов. Если рулевая рубка сконструирована из магнитных материалов, то магнитные материалы должны быть расположены симметрично относительно МК.

Определение расстояний защиты (безопасных расстояний) до оборудования и электрических кабелей

Магнитное и электрооборудование, а также кабели, обтекаемые

постоянным током, расположены около МК, могут вызвать девиацию МК. Чтобы замена элементов оборудования не вызвала неприемлемой девиации, такие элементы не должны быть расположены ближе к МК чем на расстояние защиты.

Расстояние защиты определяется как расстояние между центром МК и ближайшей точкой этого элемента.

Расстояния защиты определяются для главных МК.

Для других МК могут быть сокращены в соотношениях, указанных ниже.

Для путевых МК для судов с длиной более 60 м, для главных МК для судов пограничной службы с наибольшей длиной до 60 м эти расстояния могут быть уменьшены до 75% от расстояний защиты.

Для вспомогательных МК, путевых МК для судов с длиной менее 60 м и для магнитных датчиков эти расстояния могут быть уменьшены до 50% от расстояний защиты.

Магнитное и электрооборудование должно размещаться на расстояниях защиты, установленных испытаниями по методам, изложенными ниже. Изготовители должны заявить расстояния защиты для каждого элемента оборудования.

Элементы, для которых расстояние защиты неизвестно, должны быть расположены не ближе 7 м от главного или путевого МК. Эти расстояния могут быть уменьшены до 5 м для главных МК на судах с наибольшей длиной до 60 м.

Для путевых, вспомогательных МК и для магнитных датчиков на судах с длиной до 60 м эти расстояния могут быть уменьшены до 2,5 м.

При определении расстояния защиты для крупного оборудования, такого, как радиолокаторы, допускается производить его разделение на блоки.

В этом случае расстояние защиты всего оборудования должно определяться по отсутствию его влияния на МК. Остальное оборудование, имеющее большие массы, рассматривают как часть конструкции судна, влияющая на МК.

Электрические линии, передающие постоянный ток, расположенные ближе

ПРИЛОЖЕНИЯ

5 м от МК, должны быть бифилярны. Муфты и трубы, расположенные рядом с МК, должны быть из немагнитных материалов.

МК должны быть расположены не ближе чем в 2 м один от другого или от магнитных датчиков.

На судах с длиной до 60 м расстояние между МК может быть уменьшено до 1,8 м, расстояние между МК и магнитным датчиком может быть уменьшено до 1,5 м.

Определение расстояния защиты

Расстояние защиты для каждого элемента оборудования определяется по одному из двух методов, описанных ниже.

Каждый элемент должен быть опробован в положении по отношению к МК или магнитометру, при котором девиация, являющаяся его следствием, максимальна при условии, что этот элемент может быть расположен таким образом (на судне).

Метод А. Испытание в местном поле Земли. Расстояние защиты для каждого элемента определяется как расстояние, измеряемое между ближайшей а МК точкой элемента и центром МК или датчиком магнитометра, при котором девиация, являющаяся влиянием элемента, не превышает $0,045^\circ/H$, где H - напряженность горизонтальной составляющей магнитного поля, Э.

Каждый элемент должен быть испытан: а) в том состоянии, в котором он получен; б) после намагничивания в постоянном поле $1,5 \cdot 10^3/4\pi A/m$ полем стабилизирующего переменного тока частотой 50 Гц с напряженностью $18 \cdot 10^3/4\pi A/m$ (действующее значение). Если оборудование может быть повреждено, то стабилизирующее поле не применяется; в) в состоянии возбуждения, если элемент может быть возбужден электрически. Расстояние защиты - это максимальное из расстояний, полученных по п. а, б, в.

Метод В. Испытание в магнитном поле уменьшенной интенсивности. Расстояние защиты для каждого элемента определяется как расстояние, измеренное между ближайшей точкой к МК элемента и центром МК, при котором девиация, являющаяся влиянием элемента, не превышает $0,5^\circ$ в

горизонтальном магнитном поле напряженностью $0,06 \cdot 10^3 /4\pi A/m$.

Каждый элемент испытывается: в магнитном состоянии, в котором он был получен; в состоянии возбуждения, если он может быть возбужден электрически.

За расстояние защиты принимается максимальное из расстояний.

Стандарт ISO/DIS 11606.

Морские электромагнитные компасы (выдержки из стандарта)

Магнитный сенсор (датчик) - сенсор, который способен уловить магнитное поле Земли и обеспечить выходной сигнал для процессора.

Процессор - устройство, которое перерабатывает выходные сигналы магнитного сенсора и определяет магнитный и/или истинный курс судна.

Главный компас - устройство в виде дисплея, которое индицирует выходные сигналы процессора в виде картишки компаса.

Индикатор репитера - устройство, повторяющее индикатор главного компаса.

Калибровка картишки главного компаса

Главный компас должен иметь шкалу картишечного типа, которая должна быть разделена на 360 единичных градусов, начиная с Севера (000) по часовой стрелке при наблюдении сверху. Точность калибровки должна быть не ниже $0,2^\circ$. Основные точки должны быть помечены прописными буквами N, S, E, W; промежуточные точки также могут быть маркированы. Картишка должна быть пронумерована через каждые 10° , начиная с Севера.

Примечание автора: Стандарт ISO 11606 распространяется на индукционные компасы. Термин «Главный компас» применен неудачно. Функции, выполняемые этим устройством соответствуют функциям центрального прибора дистанционного МК.

Показания индикаторов репитера

Калибровка индикаторов картишечного типа должна проводиться таким же образом, как и для картишки главного компаса. Если индикатор репитера используется для цели управления судном, то он должен быть картишечного типа.

В случае применения цифровой индикации, она должна быть показана

ПРИЛОЖЕНИЯ

тремя цифрами единиц градусов.

Плоскость карточки главного компаса и индикаторов репитера, используемых для определения румба, должны быть уравновешены в горизонтальной плоскости с отклонениями не более 2° .

Компенсация девиации и крена

Должны быть предусмотрены меры по корректировке ошибки крена и коэффициентов A, B, C, D, E . Должна быть предусмотрена возможность корректирования следующих значений:

вертикальной составляющей (вызывающей ошибку крена) до ± 75 мкТ.
 A - до $\pm 3^\circ$; B - до $\pm(720/H)^\circ$; C - до $\pm(720/H)^\circ$; D - до $\pm 7^\circ$; E - до $\pm 3^\circ$,
где H - горизонтальная составляющая геомагнитного поля, мкТ.

Выходные сигналы для другого оборудования

Компас должен быть сконструирован так, чтобы быть в состоянии передавать информацию о курсе с погрешностью не более $\pm 0,5^\circ$ другому навигационному оборудованию: радиолокаторам, радиопеленгаторам, авторулевым и др.

Если имеется карданово кольцо, расположенное горизонтально, то главный компас должен быть сконструирован так, чтобы он мог свободно поворачиваться относительно внутренней кардановой оси на угол до 30° .

На задней части магнитного сенсора, главного компаса и репитера с индикатором картушечного типа в целях обеспечения корректировки их положения относительно оси «нос-корма» на угол от 4 до 6° должны быть нанесены штрихи.

Должен быть предусмотрен, как минимум, один прибор для измерения пеленгов удаленных предметов или звезд.

Любая погрешность индикации курса на главном компасе не должна превышать $\pm 1^\circ$.

Различие между показаниями репитера и главного компаса не должно быть более $\pm 0,5^\circ$.

Должна быть предусмотрена возможность компенсации коэффициентов A ,

П.5. Основные требования нормативных документов

B, C, D, E, так чтобы остаточное значение каждого коэффициента не превышало $\pm 0,5^\circ$.

Меры предосторожности против сбоев

Подача энергии должна быть обеспечена основным и аварийным источниками питания с возможностью автоматического переключения.

Должны быть приняты меры по предупреждению непредвиденного изменения данных компенсатора в случае отказа системы.

Должна быть предусмотрена автоматическая подача сигнала тревоги в случае прекращения подачи энергии к компасу.

ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ



1.1. Наклонение магнитного поля Земли будет выше в Санкт-Петербурге, т.к. оно увеличивается с увеличением широты места наблюдения. В районе географического экватора оно близко к нулю, а в районе полюса – к 90^0 .

1.2. Уменьшение точности работы МК в высоких широтах обусловлено уменьшением величины горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли.

1.3. Это говорит о том, что в указанной точке магнитное склонение $d=+30^0$.

1.4. Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли $H=0.5T$, так как $H=T \cos I$.

1.5. На изоклине, соответствующей 30^0 , так как в этом случае горизонтальная составляющая H магнитного поля Земли будет больше и, следовательно, момент, устанавливающий картушку в меридиан, будет иметь более высокое значение.

2.1. Котелок МК устанавливается в нактоузе в кардановом подвесе таким образом, что его центр масс понижен по отношению к центру подвеса.

2.2. Чаще всего в МК используются 2, 4, или 6 стержневых магнитов.

2.3. Для устранения пузырьков в котелке имеется специальная полость, заполненная воздухом, в которую они перемещаются при наклоне и покачиваниях котелка.

2.4. Угол застоя картушки котелка зависит от момента сил трения в системе подвеса картушки, величины ее магнитного момента и широты места судна (величины напряженности горизонтальной составляющей магнитного поля Земли).

2.5. Переходный процесс характеризуется его длительностью, периодом затухающих колебаний, а также фактором или декрементом затухания.

2.6. Вынужденное движение картушки МК определяет реакцию компаса на внешние возмущающие воздействия, изменяющиеся по гармоническому или случайному законам.

2.7. Если $\omega_0 >> \omega$, то амплитуда колебаний картушки практически не зависит от частоты ω . Если $\omega_0 \approx \omega$, то проявляются резонансные явления, в результате чего амплитуда колебаний картушки растет по мере приближения ω_0 к ω . Этот рост будет тем больше, чем меньше степень демпфирования колебаний картушки. Если $\omega_0 << \omega$, то амплитуда вынужденных колебаний картушки убывает примерно обратно пропорционально квадрату частоты внешнего воздействия.

2.8. В связи с тем, что магнитная проницаемость сердечника феррозонда, а, следовательно, и индуктивное сопротивление его обмоток не зависят от знака подмагничивающего поля, то за один период подмагничивающего напряжения происходит два цикла изменения сопротивления обмоток, и, следовательно, два колебания выходного сигнала.

2.9. Для того чтобы исключить влияние подмагничивающего поля на его выходной сигнал. Суммарный магнитный поток, образованный подмагничивающими обмотками, в данной конструкции всегда равен нулю, что исключает указанное влияние.

2.10. В основе синхронного репитера лежит сельсин-приемник, а шагового – шаговый мотор.

2.11. Зеркало используется для пеленгования светил, имеющих высоту, превышающую 20^0 , а оптические фильтры – при пеленговании солнца.

2.12. Нет, так как мостик используется только при проведении девиационных работ. Если мостик стоит на пеленгаторе, то его при пеленговании можно не удалять, так как он не оказывает никакого влияния на результат пеленгования.

3.1. Феррозонд измеряет составляющую напряженности судового или земного магнитного поля вдоль своей оси чувствительности.

3.2. Для определения улов крена и дифферента судна путем измерения трех ортогональных составляющих ускорения силы тяжести Земли.

3.3. Кольцевые сердечники феррозондов ввиду их замкнутости обладают лучшими магнитными характеристиками, позволяют создавать многокомпонентные чувствительные элементы, исключают необходимость подбора сердечников и параметров обмоток возбуждения.

3.4. При наличии качки судна погрешность возникает из-за отклонения

ПРИЛОЖЕНИЯ

осей чувствительности феррозондов от плоскости горизонта.

3.5. Основными достоинствами индукционных компасов являются:

- ✓ отсутствие погрешности от трения и увлечения жидкостью;
- ✓ отсутствие погрешностей, обусловленных динамическими характеристиками кортушки;
- ✓ большая свобода в выборе мест размещения индукционного датчика,
- ✓ возможность автоматического устранения девиации МК;
- ✓ наличие дистанционных систем передачи информации.

3.6. Из-за наличия ускорений, обусловленных качкой судна, которые усложняют процесс измерения составляющих судового магнитного поля.

4.1. Составляющие gX , bY и fZ судового магнитного поля образованы за счет намагничивания магнитомягких материалов компонентами X , Y и Z земного магнитного поля, соответственно. Направлены указанные составляющие, соответственно, по осям oz , ox и oy , связанным с судном. Составляющая Q образована полем магнитотвердых материалов, которое практически не зависит от параметров земного магнетизма.

4.2. От широты места судна зависят коэффициенты B' и C' .

4.3. Направление СМС λH и $A' \lambda H$ останется неизменным. СМС $B' \lambda H$ и $C' \lambda H$ изменят свою ориентацию на 20° , а $D' \lambda H$ и $E' \lambda H$ – на 40° .

4.4. Угол между магнитным и компасным меридианами определяет девиацию МК.

4.5. Полукруговая девиация порождается материалами обеих типов, но в большей степени магнитотвердыми. Четвертная девиация порождается только магнитомягкими материалами.

4.6. Девиация появляется из-за изменения магнитного состояния судна. При наличии дифферента оно намагничивается несколько иначе.

4.7. Следует учесть магнитное склонение и поправку гирокомпаса.

5.1. С помощью постоянных магнитов уничтожается полукруговая девиация.

5.2. Для измерения напряженности магнитного поля.

5.3. Для определения момента полной компенсации измеряемого магнитного поля полем основных магнитов дефлектора.

5.4. Да, с помощью дефлектора Колонга. Для этого следует развернуть

Ответы на вопросы для самоконтроля

компенсационный магнит таким образом, чтобы его ось была вертикальна.

5.5. С помощью судового инклиноватора измеряется наклонение земного или судового магнитного поля.

5.6. Полукруговая девиация устраняется на четырех главных а) магнитных курсах (способ Эри), б) компасных курсах (способ Колонга).

5.7. а) $C' \lambda H$, б) $B' \lambda H$.

5.8. За счет намагничивания компенсаторов четвертной или широтной девиации магнитами картушки.

5.9. Бруск магнитомягкого материала с определенным соотношением его длины и ширины.

5.10. Котелок, у которого магнитный момент картушки примерно в 10 раз меньше, чем у обычного котелка. Это позволяет считать, что такой котелок практически не вызывает девиацию от индукции.

5.11. За счет того, что полукруговая девиация уничтожается только постоянными магнитами, в то время как сама девиация зависит и от поля, создаваемого магнитомягкими материалами.

5.12. Вертикально.

5.13. Постоянным магнитом с вертикальной осью.

5.14. Для измерения вертикальной составляющей судового магнитного поля, которая необходима для устранения креновой девиации.

6.1. Определение поправок МК; если это возможно, устранение причин возникновения недопустимо больших их значений; выполнение профилактических работ в соответствии с указаниями технической документации на прибор.

6.2. Внешнего осмотра, проверки горизонтальности азимутального круга, положения визирной плоскости пеленгатора и угла застоя картушки.

6.3. По значению порога чувствительности системы, времени отработки заданного угла рассогласования и количеству колебаний шкалы реиптера относительно установленвшегося курса в течение переходного процесса.

6.4. Из регулировки нулевого положения магнитов и подгонки его к пеленгатору.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдун Г.Д., Калашников Н.В., Стоцкий Л.Р. Международная система единиц. - М.: Высшая школа, 1964, 274 с.
2. Воронов В.В., Перфильев В.К., Яловенко А.В. Технические средства судоходства: Конструкция и эксплуатация: Учебник для вузов / Под ред Е.Л. Смирнова. - М.: Транспорт, 1988. - 335 с.
3. Гуков Ф.Т. Практика уничтожения и определения девиации. - М.: Транспорт, 1960, 200 с.
4. Кардашинский - Брауде Л. А. Современные судовые магнитные компасы. - СПб: ФГУП "ГНЦ РФ - ЦНИИ «Электроприбор», 1999. - 138с.
5. Кожухов В.П., Воронов В.В., Григорьев В.В. Магнитные компасы -М.: Транспорт, 1981. -212 с.
6. Патент №2047838 на изобретение "Дистанционный магнитный компас". Авторы: Плонский А.Ф., Плонская Т.В., Дунаеко В.Ф., Михайлиди В.Б., Мороз П.И., Кузнецов В.В. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 10 ноября 1995 г.
7. Плонская Т.В. Исследование и разработка устройств автоматизированного контроля размеров кварцевых элементов на основе управляемых высокостабильных автогенераторов: Диссертация на соискание уч. степени кандидата техн. наук. -Рязанский радиотехнический институт, 1982.
8. Плонская Т.В., Плонский А.Ф. Дистанционный магнитный компас с датчиком углового перемещения. Мортехинформреклама. Морской транспорт. Серия "Судоходство, связь и безопасность мореплавания". Экспресс-информация, вып. 2(357) 1999, с.1-8.
9. Смирнов Е.Л., Яловенко А.В., Якушенков А.А. Технические средства судоходства: Теория: Учебник для вузов /Под ред. Е.Л.Смирнова. -М.: Транспорт, 1988. - 376 с.
10. Ю.Фридлендер Г.О., Селезнев В.П. Пилотажные манометрические приборы, компасы и автопштурманы. - М.: Оборонгиз, 1953, 368 с.
11. Черняев Р.Н. Международная и навигационная регламентация требований к навигационному оборудованию судов, сб. Судостроение за рубежом. ЦНИИ "Румб", вып. 8 (200). 1983.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАГНИТНЫХ КОМПАСОВ	5
1.1. Краткая историческая справка	5
1.2. Общая характеристика земного магнитного поля	6
1.3. Классификация магнитных компасов	7
Глава 2. МАГНИТНЫЕ КОМПАСЫ С КАРТУШКОЙ	10
2.1. Состав комплекта магнитного компаса	10
2.2. Устройство котелка магнитного компаса	11
2.3. Собственное движение картушки магнитного компаса	16
2.3.1. Компас не имеет дополнительного кожуха	16
2.3.2. Компас имеет дополнительный кожух	21
2.4. Вынужденное движение картушки магнитного компаса	24
2.5. Системы дистанционной передачи информации	27
2.5.1. Оптическая система дистанционной передачи информации	28
2.5.2. Электромеханическая система дистанционной передачи информации	29
2.6. Дополнительные устройства компаса	37
2.6.1. Репитеры	38
2.6.2. Пеленгаторы	41
Глава 3. ИНДУКЦИОННЫЙ МАГНИТНЫЙ КОМПАС	45
3.1. Принцип действия индукционного магнитного компаса	45
3.2. Краткая характеристика индукционных компасов	51
3.3. Погрешности индукционных компасов	55
Глава 4. ДЕВИАЦИЯ МАГНИТНОГО КОМПАСА	57
4.1. Общая характеристика судового магнитного поля	57
4.2. Уравнение девиации	59
4.3. Судовые магнитные силы	62
4.4. Девиация, порождаемая судовыми магнитными силами	65
4.5. Креновая девиация магнитного компаса	67
4.6. Определение девиации магнитного компаса	69
Глава 5. УНИЧТОЖЕНИЕ ДЕВИАЦИИ МАГНИТНОГО КОМПАСА	73
5.1. Общие принципы уничтожения девиации	73
5.2. Приборы, используемые для уничтожения девиации	74
5.2.1. Принцип действия дефлектора	74
5.2.2. Принцип действия инклиноватора	79
5.3. Уничтожение полукруговой девиации способом Эри	82
5.4. Уничтожение полукруговой девиации способом Колонга	84
5.5. Уничтожение широтной девиации	85
5.6. Уничтожение четвертной девиации	90
5.7. Сущность девиации от индукции	92
5.8. Совместное уничтожение четвертной девиации и девиации от индукции	94

5.9. Уничтожение креновой девиации	95
5.10. Составление таблицы остаточной девиации	97
5.11. Особенности устранения девиации в индукционных компасах.....	101
Глава 6. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МАГНИТНЫХ КОМПАСОВ	106
6.1. Требования к размещению магнитных компасов	106
6.2. Состав проводимых работ	107
6.3. Оценка технического состояния прибора.....	107
6.3.1. Внешний осмотр приборов	108
6.3.2. Проверка технического состояния котелка МК.....	108
6.3.3. Проверка качества работы дистанционных систем передачи информации	111
6.4. Подготовка компаса для проведения девиационных работ.....	112
6.4.1. Подгонка дефлектора к пеленгатору	112
6.4.2. Проверка и регулировка инклиновата.....	113
6.5. Уничтожение полукруговой девиации в рейсе	114
6.6. Измерение магнитного наклонения	117
6.6.1. Измерение магнитного наклонения на берегу	117
6.6.2. Измерение магнитного наклонения на судне	117
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
ПРИЛОЖЕНИЯ	120
П.1. Основные параметры, характеризующие магнитное поле	120
П.2. Магнитные свойства ферромагнитных тел	123
П.3. Основные параметры стрелочных магнитных компасов	124
П.4. Основные технические параметры индукционных компасов.....	127
П.5. Основные требования нормативных документов	127
ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	142
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	146

ИД №02677 от 28.08.2000г.

Подписано в печать 12.11.2001.

Формат 60x84 1/16. Бумага для множ. апп.

Усл. печ. л. 8,6. Уч.-изд. л. 6,07 Тираж 100. Изд. № 162. Заказ .247

Редакционно-издательский отдел

Новороссийской Государственной морской академии.

353918, Новороссийск, пр. Ленина, 93.