

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Судовождение и безопасность судоходства»

ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ КОМПАСЫ

Методические указания
к практическим занятиям
по дисциплине «Технические средства судовождения».
Раздел «Гироскопические компасы»

Севастополь
СевГУ
2019

УДК 629.5.05(076)
ББК 39.471-5я73
Г54

Р е ц е н з е н т:

Е.В. Гембатов – капитан судоходной компании “Briese Schifffahrts GmbH & Co.”

Ответственный за выпуск:

С.А. Подпорин – заведующий кафедрой СБС, к.т.н., доцент

Составители: С.А. Подпорин, А.А. Загородний, В.В. Михайлов, Л.В. Аркин

Г54 Гироскопические компасы: метод. указания к практическим занятиям по дисциплине «Технические средства судовождения». Раздел «Гироскопические компасы» для студентов специальности 26.05.05 Судовождение очной и заочной форм обучения / Сост. С.А. Подпорин, А.А. Загородний, В.В. Михайлов, Л.В. Аркин. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 68 с.: ил.

Целью методических указаний является оказание студентам необходимой методической помощи при подготовке к практическим занятиям по дисциплине «Технические средства судовождения» (раздел 1 – «Гироскопические компасы»).

УДК 629.5.05(076)
ББК 39.471-5я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры «Судовождение и безопасность судоходства» Морского института Севастопольского государственного университета в качестве методических указаний, протокол № 8 от 30 августа 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЗ-1	Вводное	4
ПЗ-2	Изучение основных свойств гироскопа	7
ПЗ-3	Знакомство с основными моделями гирокомпасов	13
ПЗ-4	Устройство гирокомпаса с непосредственным управлением	27
ПЗ-5	Изучение следящей системы гирокомпаса	37
ПЗ-6	Оценка времени прихода гирокомпаса в меридиан	42
ПЗ-7	Определение скоростной и инерционной девиации гирокомпаса в разных условиях плавания	49
ПЗ-8	Устройство гирокомпаса с косвенным управлением	60

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. ВВОДНОЕ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: Цель и задачи дисциплины, входной контроль знаний (формирование компетенций не предусмотрено).

Объем: 2 академических часа.

Количество обучаемых: 1 подгруппа (численность определяется количеством рабочих мест с доступом к системе дистанционного обучения в компьютерном классе).

Содержание:

1. Краткая характеристика дисциплины – 10 мин.
2. Выдача индивидуальных заданий на курсовой проект – 10 мин.
3. Краткий инструктаж по прохождению электронного курса с использованием системы дистанционного обучения – 20 мин.
4. Входной контроль знаний в формате комплексного тестирования по ранее пройденным дисциплинам – 40 мин.
5. Подведение итогов занятия – 10 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Компьютерный класс с доступом к системе дистанционного обучения Университета.
2. Пластиковая или смарт-доска.
3. Мультимедиа-аппаратура (компьютер, проектор, экран).

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ

Входной контроль имеет целью проверить полученные в ходе ранее изучаемых дисциплин знания студентов, необходимые для успешного усвоения дисциплины «Технические средства судовождения». По результатам входного контроля может быть проведена некоторая коррекция программы дисциплины, а также реализован более гибкий подход к обучению отстающих студентов.

Перечень тем, выносимых на входной контроль:

- География водных путей;
- Навигация;
- Мореходная астрономия;
- Навигационные приборы;
- Устройство судна и судовые системы;
- Английский язык;
- Международный свод сигналов.

Входной контроль знаний проводится в формате компьютерного теста. Каждый вариант включает в себя 37 вопросов разных типов (множественный выбор, ввод числового или текстового значения, верно-неверно, соответствие). Ориентировочное время выполнения задания – 35 минут.

Вопросы теста имеют разную «стоимость» в баллах в зависимости от уровня их сложности. Максимально возможный балл – 100 баллов по 100 балльной шкале.

Балл в пределах 80–99 показывает, что студент в полной мере готов к изучению дисциплины «Технические средства судовождения. Ч.1 и Ч.2».

Балл в пределах 60–80 показывает, что студент в достаточной степени готов к изучению дисциплины, однако есть ряд пробелов в знаниях, на которые следует обратить внимание.

Балл в пределах 40–60 показывает, что студент может быть допущен к изучению дисциплины, при этом следует обратить серьезное внимание на имеющиеся существенные пробелы в знаниях.

Балл менее 40 показывает, что студент не готов к изучению дисциплины. Допуск может быть дан лишь условно. К таким студентам требуется индивидуальный подход, в том числе работа во внеаудиторное время, в противном случае будет существенный риск неосвоения материала дисциплины.

3. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

В СевГУ функционирует СДО на базе платформы Moodle, которая позволяет реализовывать различные формы электронного обучения. Возможности СДО:

- создание практически любых видов занятий (лекций, практических, семинаров и др., кроме занятий с реальным оборудованием);
- широкий инструментарий оценки знаний (доступы практически любые формы тестов и заданий);
- в создаваемый образовательный ресурс можно встраивать практически любой интерактивный и мультимедиа контент (видео, аудио, игры, диаграммы, презентации, ссылки и т.д.);
- в качестве интерактивных элементов доступны: обратная связь, чаты, форумы, контроль посещаемости, анкетирование и др.;
- СДО может использоваться как хранилище файлов (методических указаний, книг, справочников и т.д.);
- обучающийся может использовать СДО везде, где имеется доступ к сети Интернет.

По курсу ТСС используется смешанная модель обучения “Blended Learning”. При этом часть занятий (в первую очередь, лекционные, проверка знаний и самостоятельная работа) реализована в СДО, а часть занятий (работа с реальным оборудованием) проводится в аудитории. Посещаемость всех видов аудиторных занятий отмечается в СДО.

К материалам курса обучающиеся получают доступ после прохождения на первом практическом занятии входного тестирования, которое проводится по темам и разделам, изученным ранее. Далее студенты должны последовательно выполнять разделы курса в форме лекций, заданий, интерактивных упражнений, промежуточных тестов, опросов и т.д. Текущая и промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется в форме итоговых тестов по каждому разделу. Готовиться к итоговому тестированию студенты имеют возможность самостоятельно, выполняя задания неограниченное количество раз. В зачет идет последняя попытка, которая проводится в СДО в аудитории, где преподаватель имеет возможность контролировать обучающихся. Таким образом, субъективный фактор оценки уровня подготовки обучающегося сводится к минимуму.

4. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Cunliff T. Celestial navigation / T. Cunliff. – М.: WILEY NAUTICAL, 2010. – 65 р.
2. Мартыненко В.Т. География морского судоходства : учеб. пособие / В.Т. Мартыненко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2015.
3. Начальная морская подготовка: учебник/ В.Г. Гурьев и др. – М.: Колос, 2015.
4. Бурханов М.В. Справочник штурмана: учебное пособие для вузов/ М.В. Бурханов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Моркнига, 2010. – 400 с.
5. Фрид Е.Г. Устройство судна/ Е.Г. Фрид. – 5-е изд. стереотип. – М.: Судостроение, 2015. – 344 с.
6. Махин В.П. Морская практика: учебное пособие/ В.П. Махин. – СПб.: ГМА им. Макарова, 2012. – 72 с.
7. Дмитриев В.И. Навигация и лоция, навигационная гидрометеорология, электронная картография + CD : учебник для сред. проф. учеб. заведений/ В.И. Дмитриев, Л.С. Рассукованный. – М.: Моркнига, 2012. – 312 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2.

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ГИРОСКОПА

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Компетенции согласно ФГОС			
Уметь использовать и обслуживать технические средства судовождения , судовых систем связи и оповещения, судовой энергетической установки и вспомогательных механизмов (ПК-10)	—	—	Базовые (фундаментальные) физические и теоретические основы и принцип действия гироскопических компасов.
Компетенции согласно Кодексу ПДНВ (Раздел А-II/1. Функция «Судовождение на уровне эксплуатации». Сфера компетентности: «Планирование и осуществление перехода и определение местоположения»)			
Знать принципы действия магнитных и гироскопических компасов (К-8)	—	—	Знание физических основ работы чувствительного элемента гироскопического компаса

Объем: 2 академических часа

Количество обучаемых: 1 подгруппа численностью до 13 чел.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по темам «Гироскопы» (дисциплина «Физика»), «Судовые курсоуказатели» (дисциплина «Введение в специальность») – 10 мин.
2. Разбор теоретической базы – 20 мин.
3. Проведение физических опытов по демонстрации основных свойств гироскопа с пояснениями на лабораторном оборудовании – 25 мин.
4. Самостоятельная работа студентов с лабораторным оборудованием, выполнение поставленных преподавателем задач – 30 мин.
5. Подведение итогов занятия – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Установка «Гироскоп лабораторный» (рис. 2.1).
2. Волчок механический с основанием (пример на рис. 2.2).
3. Нить капроновая.
4. Мультимедиа проектор (для показа слайдов по теме занятия).
5. Пластиковая или смарт-доска.

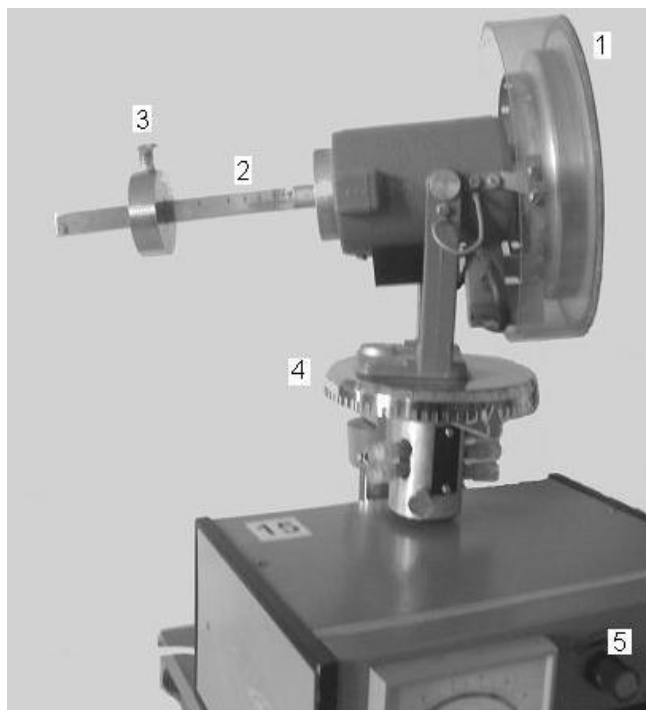


Рис. 2.1 – Внешний вид лабораторной установки

1 – ротор гироскопа; 2 – рычаг с метрической шкалой, совпадающий с главной осью гироскопа; 3 – груз, перемещением которого по рычагу 2 задается величина момента силы; 4 – диск с угловой шкалой для определения угла поворота оси гироскопа в горизонтальной плоскости при прецессии; 5 – блок управления.



Рис. 2.2 – Механический волчок

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

В общем смысле под гироскопом понимается материальное однородное симметричное тело, быстро вращающееся вокруг своей оси симметрии и подвешенное так, что его ось вращения, называемая главной осью, может свободно изменять свое направление по отношению к окружающим предметам. Используются гироскопы с тремя и двумя степенями свободы. Степени свободы определяют-

ся количеством координатных осей, вокруг которых может поворачиваться гироскоп. Если центр тяжести гироскопа совпадает с точкой подвеса, то он называется уравновешенным или астатическим.

Астатический гироскоп, на который не действуют моменты внешних сил, включая и силы трения в осях подвеса, является свободным (идеальным) гироскопом. Основным параметром гироскопа считается величина вектора кинетического момента H , которая определяется по формуле

$$H = I \Omega,$$

где: I – момент инерции гироскопа относительно оси симметрии; Ω – угловая скорость вращения.

Чем больше кинетический момент свободного гироскопа, тем лучше сохраняются его свойства. Иначе говоря, чем массивнее ротор гироскопа и быстрее он вращается, тем качественнее гироскоп.

Основными свойствами гироскопа являются следующие:

1. Устойчивость главной оси. Это означает, что, если главную ось свободного гироскопа установить в определенном направлении относительно мирового (инерциального) пространства, то она будет удерживать это направление. (Говорят, что гироскоп «следит за звездой»).

2. Прецессия. Если к гироскопу приложить внешнюю силу F (рис. 2.3), то его главная ось будет совершать движение, направленное перпендикулярно приложенной внешней силе. Такое движение называется *прецессионным*. Направление прецессии $\bar{\omega}_p$ определяется по правилу полюсов: полюс гироскопа (конец вектора H) по кратчайшему пути движется к полюсу силы (конец вектора L), т.е. прецессия происходит вокруг оси OZ .

L – вектор момента внешней силы, всегда лежит на оси, вокруг которой действует внешняя сила (F).

Дадим определение прецессии:

Прецессия – движение главной оси гироскопа в плоскости, перпендикулярной направлению действия внешней силы. Прецессионное движение происходит тем медленнее, чем быстрее вращается вокруг главной оси сам гироскоп.

Угловая скорость прецессии равна

$$\omega_p = \frac{L}{I\Omega} = \frac{L}{H}. \quad (2.1)$$

Данная формула выражает закон прецессии: угловая скорость ω_p прецессии прямо пропорциональна приложенному моменту L внешних сил и обратно пропорциональна кинетическому моменту H гироскопа.

3. Устойчивость к удару. Из формулы (2.1) следует важное свойство: прецессионное движение гироскопа прекращается сразу же после прекращения действия внешних сил. Следовательно, гироскоп не реагирует на толчки или динами-

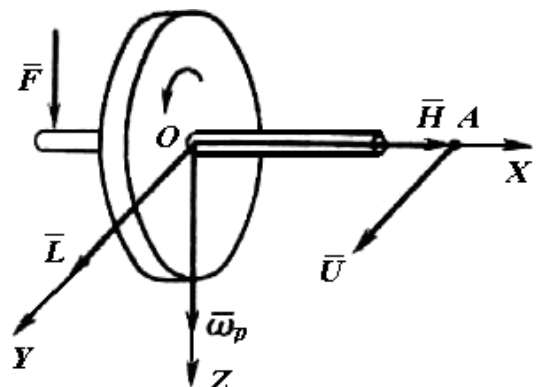


Рис. 2.3 – Прецессия гироскопа

ческие удары, которые могут передаваться от корпуса судна на гирокомпас, что могло бы способствовать неустойчивой его работе.

Если главную ось свободного гироскопа расположить на поверхности Земли (например, по направлению на истинный меридиан – линия NS), то через некоторое время заметим, что она видимым образом будет отклоняться от этого направления. На самом деле ось будет неподвижна (направлена на звезду), а видимое ее отклонение от меридиана и горизонта вызвано суточным вращением Земли вокруг своей оси. Поэтому для превращения гироскопа в курсоуказатель необходимо, чтобы его главная ось прецессировала с угловыми скоростями, равными скоростям вращения плоскостей горизонта и меридиана и, таким образом, сохраняла заданное направление линии отсчёта NS.

Для удержания гироскопа в меридиане используются два метода:

- смещение центра тяжести относительно точки подвеса;
- создание специальных корректирующих моментов, управляющих его движением.

Тогда на гироскоп постоянно воздействуют моменты внешних сил, вызывающие прецессию, превращая его в гирокомпас.

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕМОНСТРАЦИИ СВОЙСТВ ГИРОСКОПА

1. Балансировка лабораторного гироскопа путем перемещения подвижного груза 3 по рычагу 2 (рис. 2.1).
2. Включение питания и раскрутка до определенной скорости.
3. Ориентация главной оси гироскопа вдоль определенного направления (на какой-либо ориентир в классе).
4. Вращение основания гироскопа, имитируя поворот судна. Демонстрация свойства устойчивости.
5. Наклоны основания гироскопа, имитируя качку судна. Демонстрация свойства устойчивости.
6. Демонстрация не вращающегося механического волчка. Наглядное представление о его неустойчивости.
7. Раскрутка механического волчка до максимально возможной скорости. Демонстрация удержания направления в разных неустойчивых положениях (на кончике пальца, на нити и т.п.). При необходимости раскрутка волчка осуществляется несколько раз.
8. Демонстрация прецессии на лабораторном гироскопе при различных точках приложения внешней силы.
9. Демонстрация обратной зависимости скорости прецессии от скорости вращения гиromотора (закон прецессии).
10. Демонстрация прямой зависимости скорости прецессии от величины прикладываемой внешней силы (закон прецессии). Силу можно менять, надавливая рукой на главную ось гироскопа в различных направлениях.
11. Демонстрация прецессии механического волчка при подвесе волчка за один конец (например, на нити или подставке).

12. Демонстрация реакции гироскопа на кратковременные внешние воздействия (удары, слеминг).

4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ С ЛАБОРАТОРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Под присмотром преподавателя студенты поочередно отрабатывают следующие задания:

1. Взять в руки волчок, раскрутить, почувствовать гироскопическую реакцию и устойчивость главной оси. Подвесить раскрученный волчок на нити или подставке, пронаблюдать прецессию и ее зависимость (ускорение) от замедления волчка.

2. Вызвать прецессию лабораторного гироскопа путем приложения внешнего усилия на рычаг в разных направлениях. Почувствовать гироскопическую реакцию. Пронаблюдать зависимость скорости прецессии и ее направление от величины внешнего усилия.

3. Используя правило полюсов, определить теоретически и проверить практически направление прецессии при различных точках приложения внешней силы. Точка приложения задается преподавателем схематично в виде рисунка на доске или на слайде.

4. Испытать устойчивость гироскопа к кратковременным динамическим ударам.

5. Сделать вывод об условиях наблюдения основных свойств гироскопа: устойчивости, прецессии, устойчивости к удару.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные свойства гироскопа.
2. Что такое «гироскопическая реакция»? Как она проявляется?
3. Что такое «инерциальное пространство»?
4. Сформулируйте свойство устойчивости гироскопа?
5. Поясните выражение «гироскоп следит за звездой».
6. Сформулируйте свойство прецессии гироскопа?
7. В чем заключается закон прецессии?
8. Что такое «кинетический момент гироскопа»? От чего он зависит?
9. Как влияет скорость вращения гироскопа на скорость прецессии?
10. Как влияет масса ротора гироскопа на скорость прецессии?
11. Поясните понятия «астати́ческий гироскоп», «свободный гироскоп», «тяжелый гироскоп»?
12. Как можно обеспечить гироскопу три степени свободы?
13. Поясните понятия «полюс силы» и «полюс гироскопа».
14. Сформулируйте правило полюсов.
15. Куда направлены векторы кинетического момента, момента силы, угловой скорости?

16. Почему гироскоп не реагирует на быстрые толчки и динамические удары?
17. Почему свободный гироскоп не может постоянно указывать направление меридиана?
18. Что нужно сделать, чтобы превратить гироскоп в указатель меридиана?

6. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Чапчай П.А. Электронавигационные приборы: учебное пособие / П.А. Чапчай. – 2-е изд. – Одесса: ОНМА, 2012. – 161 с.
2. Каретников В.В. Технические средства судовождения: учебник / В.В. Каретников. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 316 с.
3. Смирнов Е.Л. Технические средства судовождения: учебник / Е.Л. Смирнов, А.В. Яловенко, В.В. Сизов. – С-Пб.: Элмор, 2015. – 656 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3.

ЗНАКОМСТВО С ОСНОВНЫМИ МОДЕЛЯМИ ГИРОКОМПАСОВ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Компетенции согласно ФГОС			
Уметь использовать и обслуживать технические средства судовождения , судовых систем связи и оповещения, судовой энергетической установки и вспомогательных механизмов (ПК-10)	—	—	Основные модели гироскопических компасов и их характеристики.
Компетенции согласно Кодексу ПДНВ (Раздел А-II/1. Функция «Судовождение на уровне эксплуатации». Сфера компетентности: «Планирование и осуществление перехода и определение местоположения»)			
Знать принципы действия магнитных и гироскопических компасов (К-8)	—	Умение определять тип giroкомпаса	Знание основных характеристик гироскопических компасов, принципиальных отличий моделей разных типов и заводов-изготовителей

Объем: 2 академических часа.

Количество обучаемых: подгруппа численностью до 13 чел.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по пройденному лекционному материалу «Типы giroкомпасов», «Поколения giroкомпасов» – 5 мин.
2. Обзор и классификация используемых на судах giroкомпасов – 30 мин.
3. Изучение основных характеристик морских giroкомпасов – 30 мин.
4. Разбор методики выполнения раздела 1 курсовой работы – 20 мин.
5. Подведение итогов занятия, ответы на вопросы – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Giroкомпас с непосредственным управлением (рис. 3.1).
2. Giroкомпас с косвенным управлением (рис 3.2).
3. Гиросфера (рис. 3.3).
4. Тематический плакат по судовым курсоуказателям на английском языке.
5. Мультимедиа проектор (для показа слайдов по теме занятия).

6. Пластиковая или смарт-доска.



Рис. 3.1 – Гирокомпас с непосредственным управлением типа «Амур»



Рис. 3.2 – Гирокомпас с косвенным управлением PGM-C-009



Рис. 3.3 – Гиросферы: Standard 4 (слева) и Standard 20 (справа)

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Современные морские гироскомпасы по принципу работы можно разделить на два основных типа (см. рис. 3.4):

1. С непосредственным управлением (с автономным чувствительным элементом, классические, жидкостные, с гиросферой, маятниковые).
2. С косвенным управлением (сухие, безгиросферные, корректируемые).
3. Оптические гироскомпасы (лазерные и волоконно-оптические).



Рис. 3.4 – Классификация современных гироскомпасов

В ГК с непосредственным управлением ЧЭ является автономным (никак механически не связан с иными частями ГК). ЧЭ представляет собой герметичную гиросферу, плавающую в поддерживающей жидкости и ориентирующуюся на меридиан. Никакие внешние силы к гиросфере не прикладываются. Она сама ищет и удерживает направление на север (как стрелка магнитного компаса сама отыскивает магнитный меридиан).

В ГК с косвенным управлением чувствительный элемент (гироскоп) управляется внешними усилиями (датчиками, электродвигателями), т.е. является не автономным, а корректируемым. В современных ГК поддерживающая жидкость не нужна, гироскоп подвешен в специальных рамках карданова подвеса.

В оптических ГК нет вращающихся частей. Курс, а также крен и дифферент, не определяются непосредственно, а вычисляются по информации, получаемой от

расположенных внутри компаса датчиков – оптических гироскопов и акселерометров.

Распространенность классических маятниковых ГК на мировом флоте по разным оценкам составляет не менее 80%, в связи с чем дальнейшее описание будет касаться ГК именно этого типа.

Гирокомпасы по используемой в них элементной базе принято делить на 2 поколения: 1 поколение – аналоговые электромеханические (ГК серий «Курс», «Амур»); 2 поколение – цифровые электронные (современные ГК серий “Standard” (компания “Anschutz”, Германия), “Navigat” (компания “Sperry Marine”, США), “TG” (компания “Tokyo Keiki”, Япония), “CMZ” (компания “Yokogawa”, Япония) и др.). ГК 1-го поколения в настоящее время считаются устаревшими и на новых судах не устанавливаются.

Современные ГК не требуют отдельного помещения для установки на судне и устанавливаются в любом подходящем месте, как правило, на навигационном мостике (возможна установка внутри панелей мостика, стойках авторулевого, РЛС и др.).

Основными характеристиками, характеризующими точность гирокомпаса, являются следующие:

1) *статическая точность (static accuracy)*. Характеризует погрешность (обычно среднеквадратичную, реже – предельно допустимую) значения курса, полученного по гирокомпасу, находящемся на неподвижном судне. Этот параметр для современных ГК обычно не превышает $(0,1–0,5^\circ)$. Часто точность указывается в виде зависимости от широты, например $0,1 \times \sec \varphi$;

2) *динамическая точность (dynamic accuracy)*. Характеризует погрешность гирокомпаса на движущемся судне. Погрешность обусловлена, прежде всего, инерционными и интеркардинальной девиациями. Эта погрешность обычно указывается как функция широты. Для современных ГК лежит в пределах $(0,4–1^\circ) \times \sec \varphi$. Иногда указывают также максимальную скорость судна, на которой эти данные еще достоверны (в среднем до 40 уз.);

3) *время прихода в меридиан (settling time)*. Иногда называют «время готовности». Данный параметр зависит от широты и от желаемой точности прихода в меридиан. Некоторые разработчики в своих описаниях это прямо указывают, например: 4 ч на широте 35° (с точностью 2°). Однако часто указывают просто значение, подразумевая, что гирокомпас используется в широтах до 60° , а точность прихода определяется статической погрешностью;

4) *скорость отработки следящей системы (follow-up rate)*. Параметр характеризует максимальную скорость поворота судна, при которой гирокомпас будет успевать отслеживать изменения курса и передавать достоверные данные курсоуказания. Данный параметр особо важен при установке гирокомпасов на быстроходных и маневренных судах. Средняя скорость отработки у современных гирокомпасов обычно лежит в пределах $20–100^\circ/\text{с}$.

Кроме отмеченных выше четырех основных параметров, разработчики могут указывать и иные характеристики точности, например:

- *точность измерения скорости поворота (rate-of-turn accuracy)*. Характеристика актуальна, если ГК предоставляет информацию об угловой скорости поворота судна. Последние модели ГК серий “Standard” и “Navigat X” такую возможность имеют, обеспечивая при этом точность до 0,5°/мин;
- *точность прихода в меридиан (settle point error)*. Обычно значение этого параметра соответствует статической точности ГК;
- *погрешность при кратковременном (до 3-х минут) сбое питания (deviation after 3-min power interruption)*. Указывается для ГК фирмы “Sperry Marine” (“Navigat”, “SR”). По заявлениям разработчика не превышает 2°;
- *чувствительность следящей системы (follow-up sensitivity)*. Обычно не хуже 0,2°.

Гирокомпасы серии “Standard”

Немецкая компания “Anschutz & Co” со времен своего основания Германом Аншютцем-Кемпфе в начале XX века была и остается лидером по производству навигационных систем курсоуказания. Выпускаемые ей компасы имеют наименование “Standard X”, где вместо X указывается серия компаса. На сегодняшний день большинство европейских торговых судов оборудовано гирокомпасами именно этой серии. Основными моделями на сегодняшний день являются цифровые компасы “Standard 20” и “Standard 22”.

Гирокомпас “Standard 20” представляет собой современную модульную систему для морских судов. Состав базового комплекта приведен на рис. 3.5.



Рис. 3.5 – Комплект гирокомпаса “Standard-20”

В состав “Standard 20” входят три обязательных прибора:

- 1) основной прибор (master compass), ударопрочный. Может дополнительно размещаться на специально вибропоглощающей подставке;
- 2) блок управления (control unit), ударопрочный;
- 3) пульт оператора (operator unit), встраиваемый в панель мостика.

Особенности гирокомпасной системы “Standard 20”

- 1) Соответствует требованиям резолюций ИМО (А.424 и А.821) по точности курсоуказания для высокоскоростных судов (30–70 уз).
- 2) Имеет самосогласующуюся цифровую систему дистанционной передачи курса на приемники, десинхронизация не наступает даже после перерыва в судовом электропитании.
- 3) Полностью автоматическая коррекция скоростной девиации (при работе совместно с лагом и GPS).
- 4) Кроме цифровой передачи курса предусмотрена аналоговая передача и передача курса с помощью шаговых двигателей.
- 5) Сильфонный (с помощью гофры) подвес резервуара исключает кардановую погрешность при крене судна и на качке.
- 6) Быстродействующая следящая система (75°/с), позволяющая вырабатывать сигнал об угловой скорости изменения курсового угла (Rate-of-Turn function).
- 7) Возможность ускоренного прихода в меридиан (опционально) (quick settling mode).

Основные характеристики прибора приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Основные характеристики гирокомпаса “Standard 20”

Статическая погрешность (static accuracy), СКП	≤0,1°secφ
Динамическая погрешность (dynamic accuracy), СКП	≤0,4°secφ
Время прихода в меридиан (settling time) с точностью до 2°	3 ч.
Время ускоренного прихода в меридиан в режиме “quick settling” (когда судно у причала) с точностью до 3°	1 ч.
Скорость отработки следящей системы (follow-up rate)	75°/с
Допустимые углы килевой и бортовой качки (permissible pitch & roll)	± 45°
Вес (основной прибор)	26 кг
Вес (блок управления)	16 кг
Вес (пульт оператора)	1,5 кг
Энергопотребление при запуске (start-up power consumption)	<120 Вт
Энергопотребление в рабочем режиме (run-up power consumption)	<60 Вт
Напряжение питания (supply voltage)	24 В
Средняя наработка на отказ (mean time before failure – MMBF)	>25000 ч
Средняя время ремонта (mean time to repair – MTTR)	<30 мин
Межсервисный интервал (maintenance interval)	3 года

Гирокомпас “Standard 22” выполнен в виде компактного моноблока (рис. 3.6) и предназначен для установки на судах всех типов, в том числе высокоскоростных. В гирокомпасе использованы микропроцессорные технологии. В состав входят три обязательных прибора:

- 1) основной прибор (master compass);
- 2) распределительная коробка (distribution unit);
- 3) пульт оператора (operator unit), встраиваемый в панель мостика.

Объединяя в себе преимущества гирокомпаса “Standard 20”, “Standard-22” имеет следующие отличия:

- меньшие габариты и энергопотребление;
- практически не ограниченную скорость отработки следящей системы;
- полностью автоматическую коррекцию скоростной и инерционной девиаций (с возможностью ручной коррекции);
- усовершенствованную систему подачи тревожных сигналов с возможностью их отключения с пульта управления;
- возможность использования в объединенной системе курсоуказания, включающей до 4-х курсоуказателей;
- увеличенный срок службы;
- возможность автоматического ускоренного приведения в меридиан с помощью опции “Quick Settling” (в течение 1 часа с точностью до 3°).

Основные характеристики прибора приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Основные характеристики гирокомпаса “Standard 22”

Статическая погрешность (static accuracy), СКП	$\leq 0,1^\circ \text{сечф}$
Динамическая погрешность (dynamic accuracy), СКП	$\leq 0,4^\circ \text{сечф}$
Время прихода в меридиан (settling time) с точностью до 2°	3 ч.
Время ускоренного прихода в меридиан в режиме “quick settling” (когда судно у причала) с точностью до 3°	1 ч.
Скорость отработки следящей системы (follow-up rate)	Неогр.
Допустимые углы килевой и бортовой качки (permissible pitch & roll)	$\pm 45^\circ$
Вес (основной прибор)	17,5 кг
Вес (распределительная коробка)	5 кг
Вес (пульт оператора)	1,5 кг
Энергопотребление при запуске (start-up power consumption)	<120 Вт
Энергопотребление в рабочем режиме (run-up power consumption)	<60 Вт
Напряжение питания (supply voltage)	24 В
Средняя наработка на отказ (mean time before failure – ММБФ)	>27000 ч
Средняя время ремонта (mean time to repair – MTTR)	<30 мин



Рис. 3.6. ГК “Standard 22”

Гирокомпасы серии “Navigat X”

Гирокомпасы серии “Navigat X” выпускаются американской компанией “Sperry Marine”, в настоящее время являющейся подразделением корпорации “Northrop Grumman Systems Corporation”. “Sperry Marine” специализируется на выпуске морской навигационной аппаратуры для всех типов судов и кораблей. История компании берет начало с 1910 г., когда американским инженером-изобретателем Элмером Сперри была основана компания “Sperry Gyroscopic” по производству гироскопов и гиростабилизаторов, а позднее гирокомпасов и гиро-рулевых для морского и воздушного транспорта.

В настоящее время компания “Sperry Marine” выпускает широкий спектр навигационной аппаратуры, в том числе судовые системы курсоуказания: цифровые маятниковые гирокомпасы серии “Navigat X”, волоконно-оптический гирокомпас “Navigat 2100”, лазерный гирогоризонткомпас “Mk39”, магнитный компас “Jupiter”.

Гирокомпас Navigat X Mk1 разработан с учетом современных технологий навигационных и управляющих систем и предназначен для установки на судах всех типов: от яхт до крупных торговых судов. Гирокомпас выполнен в виде компактного моноблока (см. рис. 3.7), корпус которого изготовлен из легкого твердого полиуретана. Все электронные компоненты представляют собой вставные модули. Пульт управления гирокомпаса, также выполненный в виде электронной вставки, при необходимости может быть извлечен из гирокомпаса и встроен в панель мостика. В качестве чувствительного элемента в гирокомпасе используется гиросфера с двумя гиромоторами, центрирующаяся с помощью иглы

Все интерфейсные кабели подключаются непосредственно внутри основного блока. Компактность прибора позволяет устанавливать его в любом подходящем месте (например, в стойке авторулевого, нише радара и т.п.) в ходовой рубке.

Быстродействующая следящая система позволяет гирокомпасу “Navigat X Mk1” выполнять функции измерителя угловой скорости поворота судна (Rate of Turn Indicator) в соответствии с требованиями Резолюции ИМО А.526(XIII).

В приборе реализован автоматический переход на резервное питание в случае сбоя в судовой электросети. Также осуществляется выдача необходимых тревожных сообщений в случае нарушения функционирования прибора. Основные характеристики прибора приведены в таблице 3.3.



Рис. 3.7. Гирокомпас “Navigat X Mk1”

Таблица 3.3. Основные характеристики гироскопа “Navigat X MK1”

Статическая погрешность (static accuracy)	$\leq 0,1^\circ \text{secp}$
Динамическая погрешность (dynamic accuracy)	$\leq 0,4^\circ \text{secp}$
Время прихода в меридиан с точностью до $0,7^\circ$ (settling time)	≤ 3 ч.
Скорость отработки следящей системы (follow-up rate)	$100^\circ/\text{с.}$
Допустимые углы килевой и бортовой качки (permissible pitch & roll) для модификации “Navigat X MK1” mod7	$\pm 90^\circ$
Погрешность при кратковременном (до 3-х минут) сбое питания (deviation after 3-min power interruption)	$\leq 2^\circ$
Допустимые углы килевой и бортовой качки (permissible pitch & roll) для модификации “Navigat X MK1” mod10	$\pm 40^\circ$
Вес (“Navigat X MK1” mod10 / mod7)	25/28 кг
Средняя наработка на отказ (mean time before failure – MMBF)	>40000 ч
Энергопотребление при запуске (start-up power consumption)	80 Вт 125 ВА
Энергопотребление в рабочем режиме (run-up power consumption)	45 Вт 75 ВА
Напряжение питания (supply voltage)	24 VDC 115/130 VAC
Скорость вращения гиromоторов (rotor speed)	19000 об/мин

Более простой альтернативой гироскопу “Navigat X MK1” является модель гироскопа “Navigat X MK2” (рис. 3.8). Она схожа по конструкции и характеристикам, однако имеет следующие отличия:

- более компактное исполнение, меньший вес (21 кг);
- меньшее количество выходных портов (возможно подключение только 4 аналоговых репитеров против 12 в “Navigat X MK1”);
- пульт управления встроен в гироскоп и не может быть извлечен;
- питание только постоянным током (24 В) осуществляется через два независимых разъема питания;
- прибор предназначен для использования в системе с одиночным гироскопом (без резервирования)



Рис. 3.8. Гироскоп “Navigat X MK2”

Гирокомпасы компании “Tokyo Keiki”

Японский бренд “Tokyo Keiki” ведет свою историю с 1896 года. В начале XX века компания “Tokyo Keiki” стала известна благодаря своим измерительным приборам: датчикам давления, эхолотам, магнитным компасам и др. В 1918 году компания впервые вошла на рынок гирокомпасов, освоив выпуск гирокомпасов по лицензии фирмы Sperry. Позднее инженеры компании разработали и запатентовали свой гирокомпас, отличный от существующих по способу реализации компасного эффекта.

С 1990 г. концерн “Tokyo Keiki” имел официальное название “Tokimes”. В 2008 г. название “Tokyo Keiki” было восстановлено, однако на аппаратуре, выпущенной с 1990 г. использована прежняя маркировка “Tokimes”. Подразделение концерна “Tokyo Keiki Marine Systems” на сегодняшний день является одним из мировых лидеров по производству навигационной аппаратуры: интегрированных мостиковых систем, радаров, компасов, лагов, систем электронной картографии, радиоаппаратуры.

Гирокомпасы “Tokyo Keiki” относятся к маятниковым гирокомпасам (гирокомпасам с непосредственным управлением). Однако способ подвеса, центрирования и реализации маятникового эффекта в них отличен от гирокомпасов других фирм (метод “Tokyo Keiki”).

Ассортимент выпускаемых “Tokyo Keiki” гироскопических компасов представлен четырьмя сериями:

- 1) серия TG. Предназначена для установки на крупнотоннажных торговых судах;
- 2) серия ES. Предназначена для установки на средних и малых судах;
- 3) серия GM. Представляет собой компактную версию гирокомпасов серии ES. Предназначена для установки на малых судах;
- 4) серия KS. Предназначена для установки на быстроходных судах.

Гирокомпас TG-8000 (рис. 3.9) представляет собой последнюю версию популярной линейки гирокомпасов для крупнотоннажных судов, которая пришла на смену широко распространенным моделям TG-3000, TG-5000 и TG-6000. В отличие от предыдущих моделей линейки, TG-8000 имеет следующие особенности:

- более высокая скорость отработки следящей системы (до 75°/с);
- возможностью работы в паре с другим курсоуказателем;
- более полная интеграция с системами IBS;



Рис. 3.9. Гирокомпас TG-8000:
основной прибор (слева);
блок управления (справа).

- соответствие требованиям по точности для высокоскоростных судов (для версии TG-8500);
- таймер включения ГК.

TG-8000 состоит из двух блоков: основной прибор (master compass) и блок управления (control unit). При использовании совместно с авторулевым PR-6000 производства “Tokyo Keiki” гирокомпас TG-8000 устанавливается непосредственно в стойку авторулевого (steering stand), в которой предусмотрены соответствующие крепления (рис. 3.10).

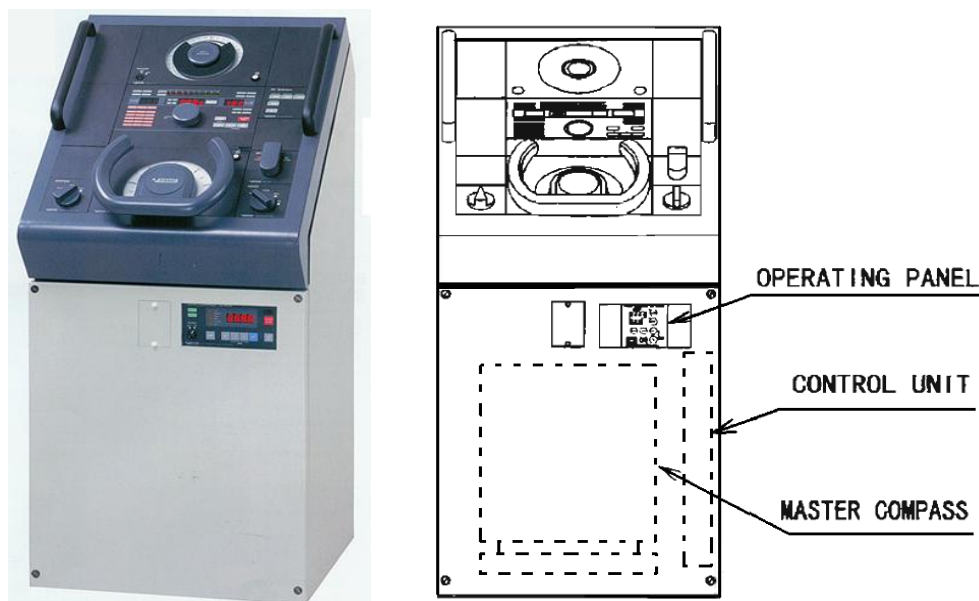


Рис. 3.10. Авторулевой PR-6000 с местом для крепления гирокомпаса

Основные технические характеристики TG-8000 приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Основные характеристики гирокомпаса TG-8000

Статическая погрешность (static accuracy)	$\pm 0,3^\circ$
Динамическая погрешность (dynamic accuracy)	$\pm 0,5^\circ$
Время прихода в меридиан (settling time) на широте 35°	<4 ч.
Скорость отработки следящей системы (follow-up rate)	$75^\circ/\text{с.}$
Допустимые углы килевой и бортовой качки (permissible pitch & roll)	$\pm 45^\circ$
Вес (основной прибор)	23 кг
Вес (блок управления)	16 кг
Энергопотребление при запуске (start-up power consumption)	140 ВА
Энергопотребление в рабочем режиме (run-up power consumption)	70 ВА
Напряжение питания (supply voltage)	$\sim 110/220$

Точностные характеристики моделей линейки TG соответствуют требованиям резолюции ИМО А.424(XI) к гирокомпасам, установленным на судах, развивающих скорость до 20 уз в широтах до 60° . Модель TG-8500 также соответствует требованиям резолюции ИМО А.821(19) к гирокомпасам для высокоскоростных судов (развивающих скорость до 70 уз).

Гирокомпасы компании “Yokogawa”

Японская компания “Yokogawa Denshikiki Co., Ltd”, образованная в 1915 г., широко известна на мировом рынке электрических измерительных приборов и датчиков. После слияния в 1983 г. с компанией “Hokushin Electric” “Yokogawa” вышла на рынок морской навигационной аппаратуры: гирокомпасов, авторулевых, электромагнитных лагов и чарт-плоттеров.

В настоящее время гирокомпасы “Yokogawa” представлены серией “CMZ”. Распространение на судах получили модели CMZ-300, CMZ-500, CMZ-700. На сегодняшний день компанией выпускается модель CMZ-900 (рис. 3.11), впервые представленная на рынке в апреле 2007 года.

Конструктивно гирокомпасы CMZ схожи на ГК “Navigat X” производства “Sperry Marine”. В них также используется двухгироскопный чувствительный элемент, центрируемый с помощью иглы, упирающейся в конусообразное отверстие в гиросфере. Однако вместо камневой опоры ее контакт с гиросферой осуществляется с помощью специального подшипника.

В ГК серии CMZ реализован сильфонный подвес резервуара с поддерживающей жидкостью. В последних моделях серии в полной мере нашла применение современная микропроцессорная техника, управляющая всеми процессами прибора. Помимо информации о курсе, ГК серии CMZ предоставляют также информацию об угловой скорости поворота (RoT) судна.

Точностные характеристики ГК CMZ-700 и CMZ-900 соответствуют требованиям резолюции ИМО А.424(XI) к гирокомпасам, установленным на судах, развивающих скорость до 20 уз в широтах до 60°. Моделей для высокоскоростных судов у компании “Yokogawa” на сегодняшний момент нет. Основные характеристики линейки “CMZ-900” приведены в таблице 3.5.



Рис. 3.11. Гирокомпас CMZ-900

Таблица 3.5. Основные характеристики гирокомпасов CMZ-900

Статическая погрешность (static accuracy)	$\leq 0,25^\circ \text{sec}\varphi$
Динамическая погрешность (dynamic accuracy)	$\leq 0,75^\circ \text{sec}\varphi$
Время прихода в меридиан (settling time)	≤ 5 ч.
Скорость отработки следящей системы (follow-up rate)	$30^\circ/\text{c}$
Допустимые углы килевой и бортовой качки (permissible pitch & roll)	$\pm 40^\circ$
Энергопотребление при запуске (start-up power consumption)	< 100 ВА
Энергопотребление в рабочем режиме (run-up power consumption)	< 60 ВА
Вес основного прибора (weight)	43 кг
Напряжение питания основного прибора (supply voltage)	$\sim 110/220$ В $= 24$ В

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ НА ЗАНЯТИИ

1. Краткий разбор классификации гирокомпасов (проводится в форме дискуссии преподавателя со студентами).
2. Описание основных моделей гирокомпасов (проводится с использованием электронной презентации).
3. Разбор основных характеристик гирокомпасов (проводится в режиме дискуссии преподавателя со студентами на русском и английском языках).
4. Знакомство студентов с техническими руководствами (мануалами) на гирокомпасы на английском языке.
5. Разбор последовательности выполнения раздела 1 курсовой работы «Описание используемого гирокомпаса» с указанием основных характерных фраз и выражений для написания раздела.
6. Подведение итогов, ответы на вопросы, выдача задания для домашнего выполнения.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Линейку каких гирокомпасов выпускает немецкая компания "Anschutz"?
2. Линейку каких гирокомпасов выпускает американская компания "Sperry Marine"?
3. Линейку каких гирокомпасов выпускает японская компания "Tokyo Keiki"?
4. Какие гирокомпасы предпочтительно устанавливать на суда, осуществляющие навигацию в полярных районах (70-90°)?
5. Which type of gyrocompasses is better for ships navigating in high (polar) latitudes (70-90°)?
6. Какие гирокомпасы предпочтительно устанавливать на суда, осуществляющие навигацию в низких широтах?
7. What company is the manufacturer of "Standard"-series gyrocompasses?
8. Какой компанией выпускаются гирокомпасы серии "Standard"?
9. Какой японской компанией выпускаются гирокомпасы серии "TG-8000"?
10. В каких моделях классических ГК используются гирисферы с конусообразным вырезом?
11. К какому классу гирокомпасов относятся гирокомпасы серии "Navigat X"?
12. Являются ли гирокомпасы серий "Navigat"/"Standard" гирокомпасами с непосредственным управлением?
13. Гирисферы какого диаметра используются в популярных ГК серии "Standard"?
14. Какой способ подвеса чувствительного элемента реализован в гирокомпасах серии "Standard"?
15. Какой способ подвеса чувствительного элемента гирокомпаса считается устаревшим и в новых ГК не используется?
16. Какой способ подвеса чувствительного элемента реализован в гирокомпасах серии "Navigat X" компании "Sperry Marine"?

17. What type of suspension is used in modern 'Navigat X' gyrocompasses?
18. За счет чего обеспечивается всегда положительная плавучесть гиросферы в гирокомпасах серии "Navigat X"?
19. What type of suspension is used in modern 'Standard' gyrocompasses?
20. Что такое «статическая/динамическая точность» гирокомпаса?
21. Назовите основные точностные характеристики гирокомпаса.
22. Что такое “settling time”, “follow-up speed”?
23. Какой характеристикой описывается надежность гирокомпаса?
24. Какие масса-габаритные показатели имеют современные модели гирокомпасов?
25. Какие модели гирокомпасов сертифицированы для установки на высокоскоростных судах?

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Чапчай П.А. Электронавигационные приборы: учебное пособие / П.А. Чапчай. – 2-е изд. – Одесса: ОНМА, 2012. – 161 с.
2. Каретников В.В. Технические средства судовождения: учебник / В.В. Каретников. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 316 с.
3. Смирнов Е.Л. Технические средства судовождения: учебник / Е.Л. Смирнов, А.В. Яловенко, В.В. Сизов. – С-Пб.: Элмор, 2015. – 656 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4.

УСТРОЙСТВО ГИРОКОМПАСА С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Компетенции согласно ФГОС			
Уметь использовать и обслуживать технические средства судовождения , судовых систем связи и оповещения, судовой энергетической установки и вспомогательных механизмов (ПК-10)	—	Различать основные элементы ГК	Основные элементы гирокомпаса с непосредственным управлением
Компетенции согласно Кодексу ПДНВ (Раздел А-II/1. Функция «Судовождение на уровне эксплуатации». Сфера компетентности: «Планирование и осуществление перехода и определение местоположения»)			
Знать принципы действия магнитных и гироскопических компасов (К-8)	—	—	Знание устройства гироскопического компаса с непосредственным управлением

Объем: 2 академических часа.

Количество обучаемых: подгруппа численностью до 13 чел.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по пройденным темам «Свойства гироскопа» и «Модели гирокомпасов» – 10 мин.
2. Изучение устройства гирокомпаса – 40 мин.
3. Изучение устройства чувствительного элемента (гиросферы) – 30 мин.
4. Подведение итогов занятия – 10 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

7. Гирокомпас с непосредственным управлением серии «Амур», «Курс» или «Standard» (рис.4.1).
8. Чувствительные элементы гирокомпасов (гиросферы) с возможностью демонстрации внутреннего устройства (рис. 4.2).
9. Мультимедиа проектор (для показа слайдов по теме занятия).
10. Плакат «Современные гирокомпасы».
11. Пластиковая или смарт-доска.



Рис. 4.1 – Гирокомпас с непосредственным управлением типа «Амур»



Рис. 4.2 – Гирсфера с возможностью демонстрации внутреннего устройства

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Устройство гирокомпаса с непосредственным управлением

Гирокомпас с непосредственным управлением называют так, потому что основным его элементом является гирсфера, помещенная в поддерживающую жидкость, самостоятельно осуществляющая поиск и удержание меридиана. Гирсфера является по сути «мозгом» гирокомпаса. Внешнее управление гирсферой не предусмотрено, поэтому гирсферу часто называют «автономным чувствительным элементом».

Классический жидкостный гирокомпас с непосредственным управлением состоит из основного прибора, транслятора курса (при наличии большого количества потребителей) или распределительной коробки, пульта управления, периферии (репитеры, пелорусы, пеленгаторы, дополнительные пульта, ЗИП и др.). Комплект самого популярного на сегодняшний день ГК с непосредственным управлением “Standard 22” представлен на рисунке 4.3.



Рис. 4.3 – Базовый комплект гирокомпаса “Standard-22” в составе (слева направо): пульт оператора, транслятор курса, основной прибор.

Основной прибор представляет собой цилиндрический или прямоугольный корпус, в который помещается резервуар с поддерживающей жидкостью (ПЖ). В ГК с большими габаритами (прошлых поколений) такой корпус называется нактоузом (binnacle). Резервуар с ПЖ должен быть в вертикальном положении, для этого он подвешен с помощью карданового (большие резервуары в старых ГК) или сильфонного (гармошка, применяется в новых моделях) подвеса (рис. 4.4.). Подвес амортизирует качку судна, вибрации, накренения и т.п.



Рис. 4.4 – Устройство основного прибора гирокомпаса “Standard-22”

В резервуар залита поддерживающая жидкость. Ее состав в разных моделях отличается. Обычно ПЖ включает в себя:

- дистиллированную воду;
- вязкую жидкость (например, глицерин) для обеспечения заданной плотности ПЖ;
- вещество, обеспечивающее электропроводимость ПЖ, (например, бура реактивная, она же тетраборат натрия);
- консервирующее вещество (например, формалин);
- антизамерзающие компоненты при необходимости (например, спирт);
- ртуть (для создания ртутной подушки и/или для смещения центра тяжести резервуара для поддержания его в вертикальном положении).

Плотность ПЖ должна быть такой, чтобы гиросфера имела практически нулевую плавучесть. В этом случае она оказывается идеально подвешенной – имеет три степени свободы без трения. Для поддержания необходимой плотности ПЖ в ГК (кроме Navigat X и Yokogawa) требуется система терморегулирования (нагрева и охлаждения). Для охлаждения обычно достаточно воздушного вентилятора, который крепится либо снизу, либо сбоку нактоуза.

В резервуаре имеется так называемая внешняя или следящая сфера (outer sphere), которая является основным элементом следящей системы гирокомпаса. Она отслеживает любые движения гиросферы относительно гирокомпаса.

Сверху резервуар накрыт так называемым «столом». На нем сосредоточены органы управления ГК, а также обязательный элемент следящей системы – азимут-мотор, вращающий следящую сферу на угол, противоположный углу поворота судна, для синхронизации ее с гиросферой. В центре стола установлены токо-

проводящие кольца, к которым подводится электропитание. Далее оно через системы крепления следящей сферы («паук») подводится к электродам следящей сферы и далее через ПЖ на гиросферу.

В ГК с аналоговым управлением на столе также находятся сельсины – электрические машины переменного тока, обладающие свойством самосинхронизации. Они используются для дистанционной передачи угла изменения курса на принимающие приборы (репитеры). Также на столе расположено термореле, управляющее работой вентилятора, термометр, механический корректор скоростной девиации, отверстие для долива ПЖ.

Устройство и принцип работы современных гироскопов существенно не отличается от ГК предшествующего поколения. Основная разница заключается в применении цифровой элементной базы (в виде микросхем) для управления ГК и иным, более эффективным способом центрирования гиросферы.

2.2 Устройство чувствительного элемента (гиросферы)

Гиросфера классического жидкостного ГК – герметичный шар диаметром от 125 мм (последние модели “Standard”) до 252 мм (ГК предыдущих поколений типа «Курс» и “Standard”). Рассмотрим устройство гиросферы на примере ГК типа «Курс». В других моделях устройство схоже.

Внутри гиросферы размещены 2 гиromотора, система их крепления («антипараллелограмм»), приспособление для гашения незатухающих колебаний (жидкостный демпфер), центрирующая катушка (катушка электромагнитного «дутья») и другие детали. Центр тяжести гиросферы расположен ниже геометрического центра на 7,79 мм; величина $a = 7,79$ мм называется метацентрической высотой.

Корпус гиросферы (рис. 4.5, б) состоит из двух полусфер: нижней 16 и верхней 8, изготовленных из латуни и покрытых снаружи эбонитом. На полюсах гиросферы (см. рис. 4.5, а) прикреплены 2 полярных электрода: верхний 1 и нижний 4, представляющих собой латунные чашечки, покрытые снаружи токопроводящим графитоэбонитом, а изнутри – изолирующим эбонитом.

В центре полярных электродов 1 и 4 (см. рис. 4.5, б) имеются токоведущие буксы 13, от которых через проводники подводится питание к электрическим узлам гиросферы. Вдоль экватора (см. рис. 4.5, а) чувствительного элемента нанесены градусные деления 7 от нуля до 360 через 1° и прикреплены экваториальные электроды, состоящие из широкого полупояса 6 и двух пар узких полупоясов 2 и 3. Полупояса, изготовленные из графитоэбонита, крепятся непосредственно к корпусу сферы и потому электрически связаны между собой.

Полярные и экваториальные электроды предназначены для подачи трехфазного тока напряжением 120 В, частотой 330 Гц к электрическим узлам гиросферы. На срезах широкого полупояса 6 размещены угольные электроды 5. Они являются электроэлементами следящей системы.

Гиросфера герметична. Воздух из нее откачивается через ниппель, находящийся в токоведущей буксе 13 нижней полусферы. Через тот же ниппель гиросферу заполняют водородом и заливают маслом 15 для смазывания шарикоподшипников гиromоторов. Водородная среда обуславливает меньшее трение при

вращении гиromоторов по сравнению с воздушной, лучшую теплоотдачу и предотвращает окисление находящегося в гиросфере масла.

Гиросфера имеет отрицательную плавучесть. Остаточная масса гиросферы при рабочей температуре поддерживающей жидкости 40 °C равна 30-40 г. Для того чтобы гиросфера при работе гироскопа не опускалась на следящую сферу и автоматически центрировалась по отношению к ней необходимой точностью (± 2 мм) как по вертикали, так и по горизонтали, применяется центрирующая катушка 11 (катушка электромагнитного «дутья»). Катушка намотана на алюминиевый кольцеобразный каркас, который крепится внутри нижней полусферы.

Магнитное поле центрирующей катушки индуцирует в алюминии следящей сферы вихревые токи, поле которых, взаимодействуя с магнитным полем катушки, создает отталкивающие силы P (рис. 4.6). Эти силы, направленные нормально к поверхности следящей сферы, имеют вертикальную и горизонтальную составляющие P_1 и P_2 , действием которых и достигается центрирование гиросферы по отношению к следящей сфере. Расстояние между сферами в районе экватора составляет 3–4 мм. Если, например, под влиянием увеличения температуры плотность жидкости уменьшится, то гиросфера начнет опускаться. Расстояние ее до нижней части следящей сферы уменьшится, отталкивающая сила катушки увеличится, и дополнительное опускание чувствительного элемента прекратится.

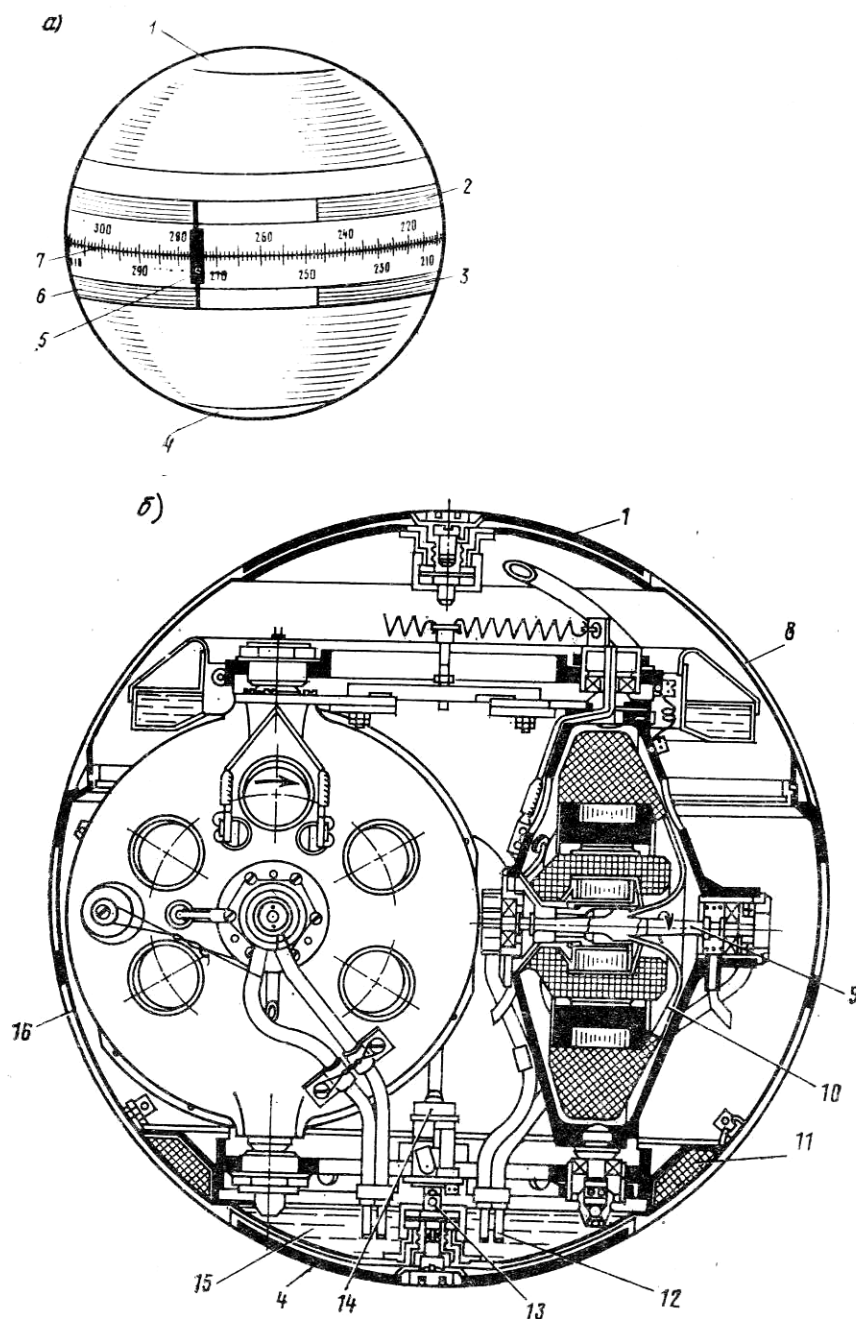


Рис. 4.5 – Гирисфера: а – внешний вид; б – корпус

Гиromоторы – основная часть чувствительного элемента. Два идентичных гиromотора – асинхронные двигатели трехфазного тока обращенного типа с короткозамкнутыми роторами типа «беличья клетка». Они питаются трехфазным током напряжением 120 В, частотой 330 Гц и вращаются со скоростью 19 800 об/мин. Гиromоторы подбирают так, чтобы их характеристики (масса роторов, частота вращения при нормальном напряжении, время разгона и выбега) были наиболее близкими. Масса ротора 2300 г.

Главные оси неработающих гиromоторов расположены под углом 90° одна к другой, а с линией $N_r - S_r$ гирисферы образуют углы в 45° . Рассмотренная схема размещения гироскопов обеспечивает значительное уменьшение погрешности гироскопа при качке судна.

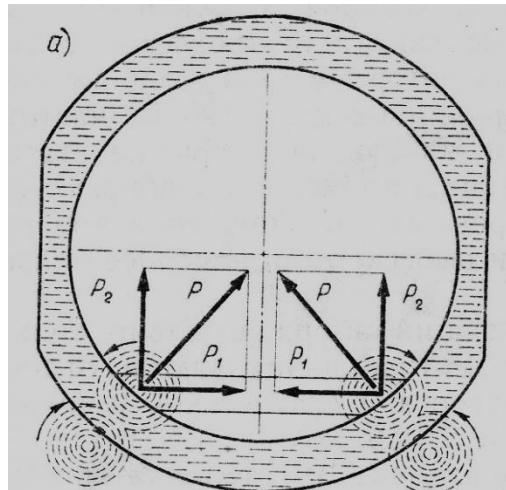


Рисунок 4.6 – Центрирование гиросферы с помощью катушек «дутья»

Приспособление для погашения незатухающих колебаний (жидкостный демпфер) (рисунок 4.7) состоит из кольцеобразного желоба, с северной и южной сторон которого расположены герметически запаенные отсеки 3, заполненные маслом. Каждый из отсеков внутренними перегородками разделен на 5 секций. Отсеки соединены между собой с помощью двух тройников 5, трубок 2 и камеры 9 выключателя затухания. Сверху отсеки соединены трубкой 4 для воздуха. При колебаниях гиросферы относительно плоскости горизонта перетекание масла будет происходить с запаздыванием. Появляющийся в этом случае сдвиг по фазе приводит к тому, что в секторах образуется избыток масла, который вызывает затухание колебаний чувствительного элемента.

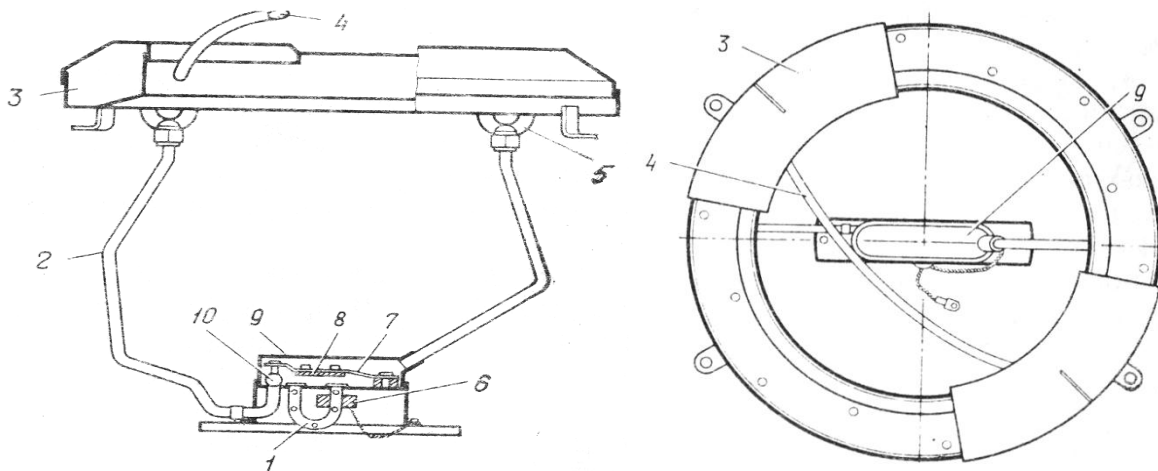


Рисунок 4.7 – Устройство жидкостного демпфера

3. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ УСТРОЙСТВА ГИРОКОМПАСА ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ

1. Изучить состав комплекта жидкостных гирокомпасов. Для современных моноблочных ГК состав комплекта показывается на слайдах и плакатах.
2. Открыть крышки гирокомпаса, изучить элементы стола и их предназначение.
3. Снять фиксаторы крепления следящей сферы, извлечь ее, изучить устройство.
4. Изучить устройство карданова (или сильфонного) подвеса резервуара.
5. Изучить состав и устройство системы охлаждения ГК.
6. Открыть боковые крышки ГК, изучить внутренне устройство, системы управления и электропитания ГК.
7. Рассмотреть и изучить состав и устройство гиromоторов внутри гиросферы, их закрепление по отношению друг к другу.
8. Рассмотреть принцип действия, внешний вид и расположение центрирующих катушек (катушек «дутья»).
9. Рассмотреть и изучить состав и устройство жидкостного демпфера.
10. Рассмотреть и изучить состав системы электропитания гиросферы (полупояса, электроды, буксы, клеммы, полярные шапки на гиросфере).
11. Установить следящую сферу на место.
12. Изучить состав поддерживающей жидкости, процедуру ее доливки и (или) замены.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие приборы входят в состав комплекта современных ГК?
2. В чем отличия в составе комплекта современных ГК от ГК прошлых поколений?
3. Где на судне устанавливают гирокомпасы?
4. Что такое «гиропост»? Нужен ли он для современных ГК?
5. Для чего нужен транслятор курса?
6. Что такое «чувствительный элемент»? Для чего он предназначен?
7. Поясните термин «гирокомпас с непосредственным управлением».
8. Зачем в ГК нужна поддерживающая жидкость? Что входит в ее состав?
9. Что такое «стол гирокомпаса»? Покажите его. Назовите основные элементы.
10. Для чего нужна «следящая сфера»? Покажите ее расположение.
11. Зачем нужно центрировать гиросферу?
12. Назовите основные способы центрирования гиросферы внутри следящей сферы.
13. Что такое «электромагнитное дутье»?
14. Покажите катушку электромагнитного дутья. Для чего она предназначена?
15. Что такое «азимут-мотор»? Покажите его расположение и укажите предназначение.
16. Зачем внутри гиросферы использованы два гиromотора?

17. Покажите физически и объясните состав и устройство жидкостного демпфера? Для чего он предназначен?
18. Покажите и объясните работу системы охлаждения гирокомпаса.
19. Как поступает электропитание на гиromоторы внутри гиросферы. Покажите основные элементы системы электропитания.
20. Продемонстрируйте процесс извлечения следящей сферы из гирокомпаса и установки ее на место.
21. Каковы параметры гиросфер используемых на морском и речном флоте гирокомпасов (самые популярные модели)?
22. Зачем в гиросфере смещают центр тяжести? Какой эффект от этого возникает?

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Чапчай П.А. Электронавигационные приборы: учебное пособие / П.А. Чапчай. – 2-е изд. – Одесса: ОНМА, 2012. – 161 с.
2. Каретников В.В. Технические средства судовождения: учебник / В.В. Каретников. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 316 с.
3. Смирнов Е.Л. Технические средства судовождения: учебник / Е.Л. Смирнов, А.В. Яловенко, В.В. Сизов. – С-Пб.: Элмор, 2015. – 656 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5.

ИЗУЧЕНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ГИРОКОМПАСА

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Компетенции согласно ФГОС			
Уметь использовать и обслуживать технические средства судовождения , судовых систем связи и оповещения, судовой энергетической установки и вспомогательных механизмов (ПК-10)	—	—	Принцип определения курса в гирокомпасе (принцип работы следящей системы)
Компетенции согласно Кодексу ПДНВ (Раздел А-II/1. Функция «Судовождение на уровне эксплуатации». Сфера компетентности: «Планирование и осуществление перехода и определение местоположения»)			
Знать принципы действия магнитных и гироскопических компасов (К-8)	—	—	Знание принципа определения курса в гироскопическом компасе

Объем: 2 академических часа.

Количество обучаемых: подгруппа численностью до 13 чел.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по пройденным темам «Элементы электрических цепей» (дисциплина «Электротехника и электроника»), «Устройство гирокомпаса с непосредственным управлением» – 10 мин.
2. Изучение принципа определения курса на основе мостового датчика – 25 мин.
3. Разбор работы следящей системы с наглядной демонстрацией – 20 мин.
4. Изучение элементов следящей системы гирокомпаса – 25 мин.
5. Подведение итогов занятия, ответы на вопросы – 10 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Гирокомпас с непосредственным управлением класса «Амур», «Курс» или «Standard» (рис.5.1).
2. Гиросфера (рис. 5.2).
3. Элементы следящей системы гирокомпаса (следящая сфера, сельсины, азимут мотор).
4. Мультимедиа проектор (для показа слайдов по теме занятия).

5. Плакат (на твердом или электронном носителе): «Принцип работы следящей системы гирокомпаса»
6. Пластиковая или смарт-доска.



Рис. 5.1 – Гирокомпас с непосредственным управлением типа «Амур»



Рис. 5.2 – Гиросфера с возможностью демонстрации внутреннего устройства

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Чувствительный элемент (ЧЭ) гирокомпаса (гиросфера) ориентируется по направлению истинного меридиана. Относительно этого направления для целей судовождения требуется знать положение диаметральной плоскости судна, т.е. его курс.

Функции измерения курса судна и передачи сигнала курсоуказания на принимающие приборы возложены на следящую систему (СС) гирокомпаса. Далее кратко представлен принцип ее работы.

Следящая система непрерывно обрабатывает любое азимутальное движение судна относительно ЧЭ гирокомпаса. Обратимся к рис.5.3.

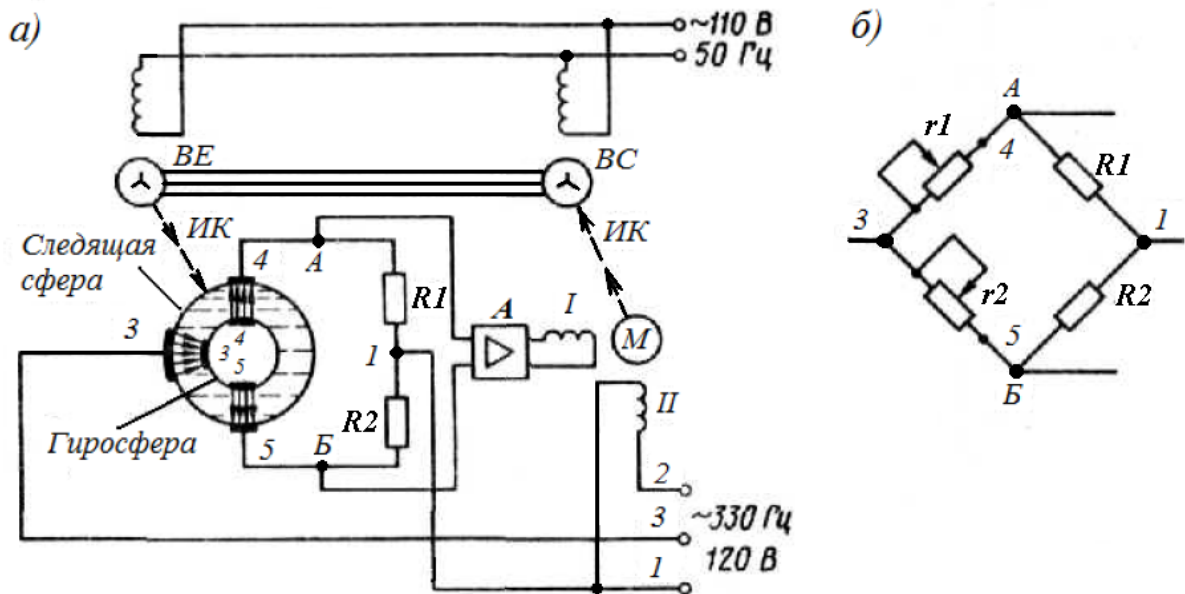


Рис. 5.3 – Принцип действия следящей системы: а) упрощенная структурная схема следящей системы; б) эквивалентная мостовая схема датчика сигнала

Следящая система, как и любая другая система автоматического регулирования, состоит из датчика сигнала, усилителя, исполнительного двигателя и обратной связи.

Датчик сигнала поворота судна (изменения его курса) построен на принципе электрического моста и представлен в виде эквивалентной схемы на рис. 5.3, а, где $r1$ и $r2$ – переходные сопротивления токопроводящей поддерживающей жидкости между следящими контактами 4 (рис. 5.3, а) и 5 следящей сферы и одноименными контактами гиросферы; $R1$ и $R2$ — резисторы. Мост подключен к первой и третьей фазам трехфазного тока напряжением 120 В, частотой 330 Гц. Когда $r1 = r2$, то между точками А (см. рис. 5.3, б) и Б схемы нет разности потенциалов. Если следящая сфера поворачивается относительно гиросферы (при повороте судна), то равенство плеч моста нарушается и в его диагонали появляется электрический сигнал рассогласования.

При повороте судна вместе с неподвижными частями основного прибора гирокомпаса поворачивается и следящая сфера относительно гиросферы (рис. 5.4). Рассогласование между двумя сферами при этом равно углу изменения курса ΔK . Вследствие изменения переходных сопротивлений жидкости нарушается равновесие моста. Сигнал рассогласования из точек А и Б поступает через усилитель на управляющую обмотку исполнительного двигателя М следящей системы (рис. 5.3, а). Обработка исполнительного двигателя вызывает поворот сельсина-датчика

BC и электрически связанного с ним принимающего сельсина *BE* (азимут-мотора), расположенного на крышке (столе) основного прибора. Азимут-мотор механически связан со следящей сферой и возвращает ее в согласованное с чувствительным элементом положение. Сельсинная пара, как видно, осуществляет обратную связь в системе.

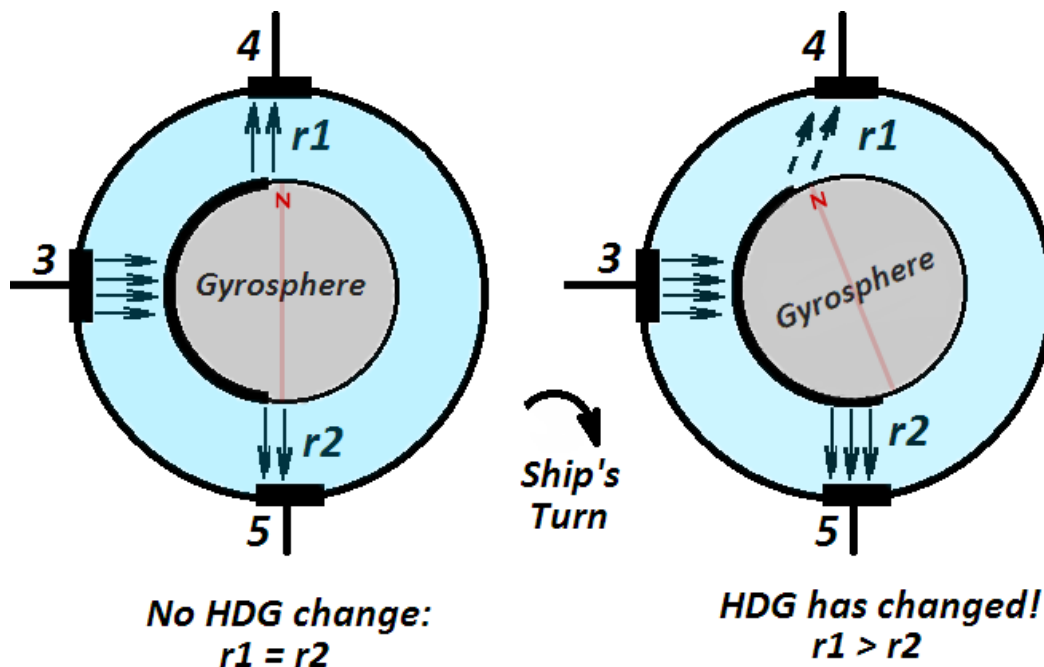


Рис. 5.4 – Рассогласование следящей системы при повороте судна, вызывающее изменение переходных сопротивлений поддерживающей жидкости

Передача поправки к курсу ΔK на принимающие приборы (репитеры, авто-рулевой и др.) осуществляется также электрическим способом. Этот сигнал может быть либо только аналоговым (например, в старых гирокомпасах: в этом случае, для взаимодействия с современными цифровыми навигационными приборами предусмотрено подключение через аналого-цифровой преобразователь (АЦП)), либо аналоговым и цифровым (без АЦП).

В современных моделях ГК (серии “Standard”, “Navigat X”) управление следящей системой и обработку сигналов осуществляет микропроцессор, обеспечивая необходимый формат выходных сигналов в соответствии с международными протоколами (например, NMEA 0183). Помимо этого, микропроцессор вычисляет значения девиаций (скоростной, инерционной) с последующим внесением поправок в сигналы, транслируемые на принимающие приборы.

Усиление и трансляция откорректированных сигналов курсоуказания осуществляется через распределительный модуль. Он может быть выполнен отдельным блоком, как, например, в гирокомпасах типа «Курс», «Амур», или входить в состав основного прибора, как в современных моноблочных гирокомпасах.

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ ГИРОКОМПАСА

1. Повторение принципа работы электрического моста.
2. Демонстрация пути прохождения электрического тока через элементы следящей системы гирокомпаса (трехфазная сеть, следящие контакты, электроды гиросферы, поддерживающая жидкость.).
3. На работающем гирокомпасе: имитация поворота судна и демонстрация отработки следящей системы.
4. Изучение основных элементов следящей системы (следящая сфера, «паук», стол гирокомпаса, азимут мотор, датчик угла, сельсины, зубчатый механизм вращения следящей сферы).
5. Подведение итогов, тестовый контроль знаний.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково предназначение следящей системы ГК?
2. Из каких элементов состоит СС ГК?
3. Как работает СС ГК?
4. Какова скорость отработки СС ГК второго поколения («Амур» и аналогичные)?
5. Какова скорость отработки СС ГК современных моделей?
6. Какова скорость отработки СС ГК для высокоскоростных судов по требованиям ИМО?
7. Как реализован датчик угла рассогласования следящей сферы и гиросферы в классическом жидкостном гирокомпасе?
8. Как передается питание на гиромоторы?
9. Для чего используются сельсины?
10. Какую функцию выполняет азимут-мотор?
11. Что такое «переходное сопротивление» электрического моста?

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Чапчай П.А. Электронавигационные приборы: учебное пособие / П.А. Чапчай. – 2-е изд. – Одесса: ОНМА, 2012. – 161 с.
2. Каретников В.В. Технические средства судовождения: учебник / В.В. Каретников. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 316 с.
3. Смирнов Е.Л. Технические средства судовождения: учебник / Е.Л. Смирнов, А.В. Яловенко, В.В. Сизов. – С-Пб.: Элмор, 2015. – 656 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6.

ОЦЕНКА ВРЕМЕНИ ПРИХОДА ГИРОКОМПАСА В МЕРИДИАН

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Компетенции согласно ФГОС			
Уметь использовать и обслуживать технические средства судовождения, судовых систем связи и оповещения, судовой энергетической установки и вспомогательных механизмов (ПК-10)	—	Включать гирокомпас, оценивать время его готовности.	Факторы, влияющие на время прихода гирокомпаса в меридиан
Способность участвовать в проведении испытаний и определении работоспособности установленного, эксплуатируемого и ремонтируемого навигационного оборудования (ПК-15)	—	Анализировать состояние гирокомпаса по курсограмме во время прихода в меридиан.	—
Компетенции согласно Кодексу ПДНВ (Раздел А-II/1. Функция «Судовождение на уровне эксплуатации». Сфера компетентности: «Планирование и осуществление перехода и определение местоположения»)			
Знать принципы действия магнитных и гироскопических компасов (К-8)	—	—	Знание факторов, влияющих на время прихода гирокомпаса в меридиан

Объем: 2 академических часа.

Количество обучаемых: подгруппа численностью до 13 чел.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по пройденным темам «Принцип работы гирокомпаса с непосредственным управлением», «Незатухающие и затухающие колебания гиросферы» – 10 мин.
2. Разбор этапов включения гирокомпаса и прихода в меридиан – 15 мин.
3. Анализ курсограммы прихода в меридиан – 10 мин.
4. Оценка времени прихода в меридиан по известным фактору затухания и периоду колебаний, включая выполнение интерполяции при определении периода колебаний и решение типовой задачи – 40 мин.
5. Построение курсограммы в программе Microsoft Excel – 10 мин.
6. Подведение итогов занятия, ответы на вопросы – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Гирокомпас с непосредственным управлением класса «Амур», «Курс» или «Standard» (рис.6.1).
2. Курсограф.
3. Технические руководства для используемых гирокомпасов.
4. Персональные компьютеры с установленной программой Microsoft Excel.
5. Мультимедиа проектор (для показа слайдов по теме занятия).
6. Плакат (на твердом или электронном носителе): «Курсограмма прихода в меридиан».
7. Пластиковая или смарт-доска.



Рис. 6.1 – Гирокомпас с непосредственным управлением типа «Амур»

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

После включения гирокомпаса чувствительный элемент должен «почувствовать» вращение Земли благодаря своему смещенному центру тяжести и, совершив несколько витков затухающих колебаний, прийти в меридиан. На это требуется определенное время, которое зависит характеристик чувствительного элемента гирокомпаса, широты плавания и угла начального отклонения от меридиана. Обычно для прихода в меридиан требуется 2-3 витка затухающих колебаний (в среднем 3–5 часов). Время, необходимое для прихода в меридиан, называется “settling time”. В высоких широтах приход гирокомпаса в меридиан будет происходить дольше, чем на экваторе. *В соответствии с требованиями ИМО, допустимое время прихода ГК в меридиан в диапазоне широт до 60° составляет не более 6 часов.*

Если фактическое время (измеряется по курсограмме – см. рис. 6.2) превышает допустимое в данной широте, то это может быть поводом для замены чувст-

вительного элемента гирокомпаса. В этом случае решение о дальнейшем использовании такого курсоуказателя принимает капитан судна.

Контроль прихода ГК в меридиан осуществляется по курсограмме по двум параметрам: фактору затухания (dampening factor – f_d) и периоду колебаний (T). Фактор затухания показывает, во сколько раз последующее отклонение от меридиана меньше предыдущего, т.е. f_d – отношение амплитуд двух соседних колебаний. Если f_d и T отличаются от штатных значений, то это может говорить о неисправности ЧЭ.

В свою очередь, зная штатные значения f_d и T, можно оценить время прихода ГК в меридиан.

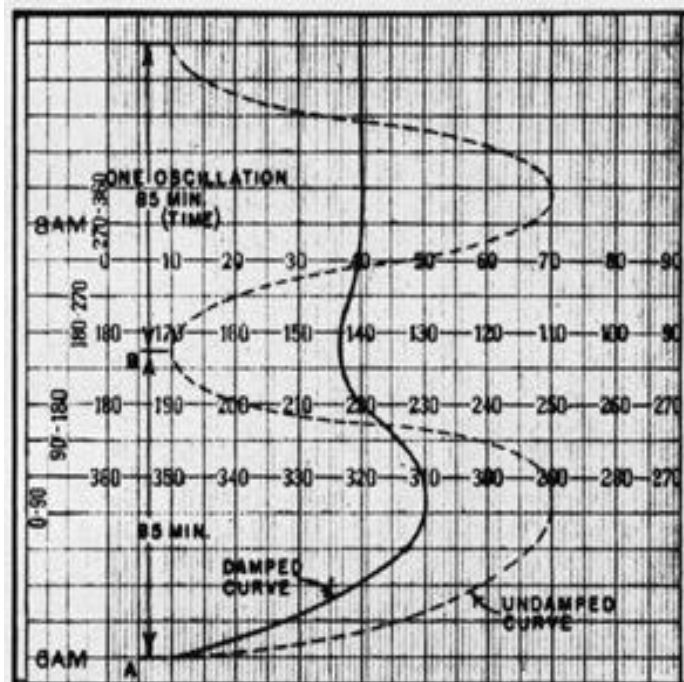


Рис. 6.2 – Курсограмма прихода в меридиан, снятая с курсографа

Этапы прихода в меридиан маятникового жидкостного гирокомпаса:

1. Прогрев (heating stage) – необходим для прогрева поддерживающей жидкости до рабочей температуры (для ГК серии “Standard” – 45°C). При этом на дисплее вместо курса отображается температура жидкости.
2. Приход в меридиан (settling stage). При этом гиросфера совершает затухающие колебания. На дисплее отображается курс, но присутствует индикация о неустановившемся его значении (например, мигающая точка и т.п.)
3. Выход на рабочий режим. ГК сигнализирует о приходе в меридиан (например, отсутствием мигающей индикации). С этого момента показаниям гирокомпаса можно доверять.

В некоторых моделях ГК (серия “Standard”) предусмотрен режим ускоренного прихода в меридиан (“Quick settling”), занимающий примерно 1 час. Он может быть выполнен при условии, что после выключения ГК не было серьезных перемещений или изменений положения гирокомпаса, в результате чего гиросфера могла бы существенно отклониться от меридиана.

3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ ПРИХОДА В МЕРИДИАН

В индивидуальном задании каждому обучающемуся дается начальный угол отклонения от меридиана (α_0) и средний фактор затухания гиросферы ($f_{\text{ср}}$). Требуется рассчитать примерное время прихода ГК в меридиан с точностью до 1° .

Для этого сначала рассчитываются амплитуды затухающих колебаний (максимальные отклонения от меридиана) в соседних полупериодах по формуле:

$$a_{n+1} = \frac{a_n}{f_{\text{ср}}}. \quad (6.1)$$

Например: для ГК с фактором затухания $f_{\text{ср}} = 3,3$ и начальным отклонением от меридиана $\alpha_0 = 170^\circ$ рассчитаем амплитуды колебаний в широте $\varphi = N 76^\circ 30'$:

$$a_1 = \frac{a_0}{f_{\text{ср}}} = \frac{170^\circ}{3,3} = 51,51^\circ;$$

$$a_2 = \frac{a_1}{f_{\text{ср}}} = \frac{51,51^\circ}{3,3} = 15,6^\circ;$$

$$a_3 = \frac{a_2}{f_{\text{ср}}} = \frac{15,6^\circ}{3,3} = 4,73^\circ;$$

$$a_4 = \frac{a_3}{f_{\text{ср}}} = \frac{4,73^\circ}{3,3} = 1,43^\circ;$$

$$a_5 = \frac{a_4}{f_{\text{ср}}} = \frac{1,43^\circ}{3,3} = 0,43^\circ;$$

Таким образом, приход в меридиан будет представлять собой 4 полных колебания ($\alpha_1 \div \alpha_4$).

На совершение одного колебания требуется $\frac{1}{2}T_d$, где T_d – период затухающих колебаний гиросферы. Период затухающих колебаний зависит от широты. Примерные значения для разных широт представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Примерные значения T_d в зависимости от широты

φ°	0	30	40	50	60	70	75	80
T_d , [мин]	68,0	74,7	80,9	91,5	109,5	142,9	174,0	220,3

В случае, если реальная широта φ занимает промежуточное значение между двумя соседними табличными значениями φ_2 и φ_1 , необходимо сделать интерполяцию между соответствующими периодами колебаний:

$$T_d = T_{d1} + (\varphi - \varphi_1) \frac{T_{d2} - T_{d1}}{\varphi_2 - \varphi_1}. \quad (6.2)$$

В рассматриваемом примере

$$T_d = 174 + (76,5 - 75) \frac{220,3 - 174,5}{80 - 75} = 188 \text{ мин.}$$

Далее оценивается время периодической части затухающих колебаний по формуле

$$t_{per} = 0,5 \cdot T_d \cdot N_d = 0,5 \cdot 188 \cdot 4 = 376 \text{ мин.}$$

Время аperiodической части затухающих колебаний примем равным 80 мин (для широт более 60°). Для широт от 30° до 60° следует принять 70 мин, для широт до 30° – 60 мин.

Таким образом, общее время прихода ГК t_{set} в меридиан в данной широте определится как

$$t_{set} = t_{per} + t_{aper} = 376 + 80 = 456 \text{ мин} = 7 \text{ ч } 36 \text{ мин.}$$

Далее сведем в таблицу (см. таблицу 6.3) точки для построения графика прихода гиросферы в меридиан.

Таблица 6.3 – Исходные данные для построения курсограммы прихода ГК в меридиан

Time	Error
0	-170.0
80	0.0
127	51.5
174	0.0
221	-15.6
268	0.0
315	4.7
362	0.0
409	-1.4
456	0.0
503	0.4
550	0.0

По данным таблицы 6.3 построим сам график (курсограмму). Рекомендуется использовать программу Microsoft Excel (тип диаграммы – точечная с гладкими кривыми и маркерами). Образец построения для рассмотренного выше примера представлен на рис. 6.3.

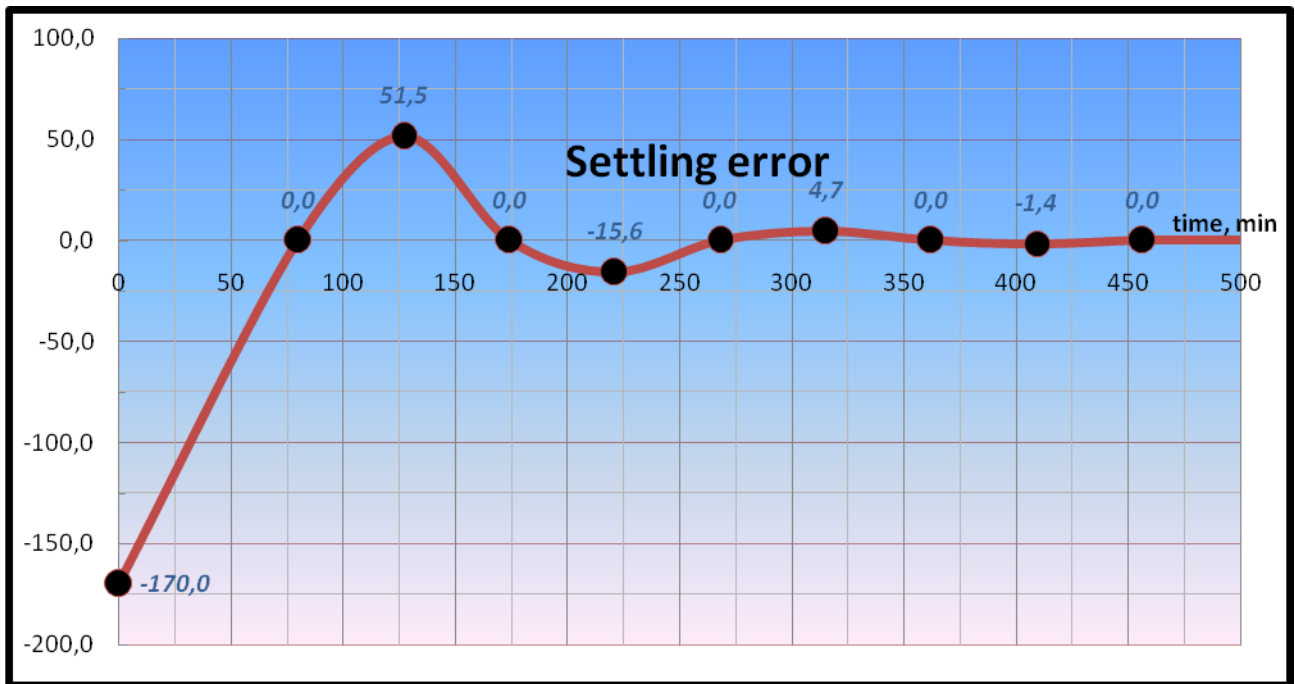


Рис. 6.3 – Курсограмма прихода гиросферы в меридиан

Далее следует сделать вывод о соответствии времени прихода в меридиан требованиям ИМО. Если не соответствует (превышает 6 часов) – пояснить причину (например, высокая широта плавания). Если приход в меридиан в широте до 60° занимает больше 6 часов, необходимо сделать вывод о необходимости замены чувствительного элемента (гиросферы) гирокомпаса.

4. РАЗБОР ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

Оценить время, необходимое для прихода ГК “Standard-14” в меридиан с точностью до 1° , если судно находится в порту Стокгольма. Период затухающих колебаний брать из таблицы 3. Фактор затухания ГК – 4,2. Начальный угол гиросферы (сразу после включения) – 80° .

Решение: начальный угол рассогласования $\alpha_0 = 80^\circ$.

Оценим α_1 : $\alpha_1 = \alpha_0 / f = 80 / 4,2 = 19^\circ$ (соответствует первому полупериоду затухающих колебаний)

Оценим α_2 : $\alpha_2 = \alpha_1 / f = 19 / 4,2 = 4,5^\circ$ (второй полупериод)

Оценим α_3 : $\alpha_3 = \alpha_2 / f = 4,5 / 4,2 = 1,07^\circ$ (третий полупериод)

Считаем, что заданная точность достигнута! Для прихода в меридиан с точностью 1° этому компасу потребовалось 3 полупериода (1,5 периода), к которым необходимо добавить время аperiodической (начальной) части.

Оценим общее время прихода в меридиан: аperiodическую часть считаем равной 70 мин. Период затухающих колебаний T_d из таблицы 3 выбираем для широты Стокгольма ($59^\circ N$) – 109 мин.

Время периодической части: $t_{per} = 3/2 \cdot T_d = 1,5 \cdot 109 = 164$ мин.

Общее время прихода в меридиан (settling time) $T_{set} = T_{per} + T_{aper} = 164 + 70 = 234$ мин ~ 4 ч

В соответствии с требованиями ИМО, в широтах до 60° время прихода в меридиан не должно превышать 6 ч. Используемый в настоящей задаче ГК удовлетворяет данным требованиям!

Задачи для самоподготовки

1. Гирокомпас «Курс-4М» включают в порту Мурманск. Оценить время прихода его в меридиан с точностью 1° , если начальный угол гиросферы относительно меридиана – 150° , а средний фактор затухания 2,5.
2. Гирокомпас “Standard 20” установлен на судне, находящемся на разгрузке в порту Сингапур. Оценить, за сколько до выхода в рейс его можно включить, чтобы обеспечить к началу плавания точность прихода в меридиан 1° . Фактор затухания считать равным 4,5. Начальный угол гиросферы – 120° .
3. Гирокомпас “Sperry Marine Mk-37” установлен на судне, находящемся в сухом доке Севастопольского судоремонтного завода. Оценить, во сколько его следует включить, чтобы обеспечить к началу ходовых испытаний точность прихода в меридиан 1° . Испытания назначены на 11-00. Фактор затухания считать равным 3,5. Начальный угол гиросферы – 150° .

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как в гирокомпасах называется параметр, определяющий время прихода в меридиан?
2. С увеличением широты как изменяется время прихода гирокомпаса в меридиан?
3. За какое время гирокомпас должен приходить в меридиан в соответствии с требованиями ИМО в широтах до 60° ?
4. Каким термином обозначается процесс прихода гирокомпаса в меридиан?
5. Within what time period should the gyrocompass settle in latitudes up to 60° ?
6. Что такое "quick settling"?
7. How long may the process of 'quick settling' in a modern gyrocompass usually take (in average)?
8. Когда можно применять режим ускоренного приведения гирокомпаса в меридиан – quick settling?
9. От чего не зависит время прихода ГК в меридиан?
10. Где (на какой широте) гирокомпас быстрее придет в меридиан?
11. Что из себя представляет средний фактор затухания гирокомпаса?
12. Как определить фактор затухания по курсограмме?
13. В каких пределах обычно находится значение фактора затухания маятниковых ГК?
14. Каково примерное значение периода затухающих колебаний маятникового гирокомпаса в низких ($\pm 30^\circ$) широтах?
15. Сколько по времени может занимать стадия прогрева поддерживающей жидкости в современных ГК?
16. Поясните последовательность выполнения интерполяции по двум значениям.

17. Какова температура рабочей жидкости в ГК серии “Standard”?
18. Как определить работоспособность чувствительного элемента по курсограмме?

6. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Чапчай П.А. Электронавигационные приборы: учебное пособие / П.А. Чапчай. – 2-е изд. – Одесса: ОНМА, 2012. – 161 с.
2. Каретников В.В. Технические средства судовождения: учебник / В.В. Каретников. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 316 с.
3. Смирнов Е.Л. Технические средства судовождения: учебник / Е.Л. Смирнов, А.В. Яловенко, В.В. Сизов. – С-Пб.: Элмор, 2015. – 656 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНОЙ И ИНЕРЦИОННОЙ ДЕВИАЦИИ ГИРОКОМПАСА В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ ПЛАВАНИЯ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Компетенции согласно ФГОС			
Уметь использовать и обслуживать технические средства судовождения , судовых систем связи и оповещения, судовой энергетической установки и вспомогательных механизмов (ПК-10)	—	Рассчитывать значения скоростной и инерционной девиаций	Причины возникновения скоростной и инерционной девиаций, формулы для их расчета
Компетенции согласно Кодексу ПДНВ (Раздел А-П/1. Функция «Судовождение на уровне эксплуатации». Сфера компетентности: «Планирование и осуществление перехода и определение местоположения»)			
Знать принципы действия магнитных и гироскопических компасов (К-8)	—	—	Факторы, влияющие на возникновение скоростной и инерционной погрешностей гирокомпаса
Уметь определять поправки гиро- и магнитных компасов с использованием средств мореходной астрономии и наземных ориентиров и учитывать эти поправки (К-9)	—	Учитывать скоростные и инерционные погрешности гирокомпаса	—

Объем: 2 академических часа.

Количество обучаемых: подгруппа численностью до 13 чел.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по пройденным темам «Девиация и поправка компаса» (дисциплина «Навигация и лоция»), «Принцип работы гирокомпаса с непосредственным управлением» – 10 мин.
2. Геометрическое и аналитическое определение скоростной девиации гирокомпаса – 15 мин.
3. Разбор типовых задач по скоростной девиации – 35 мин.
4. Разбор типовых задач по инерционной девиации – 20 мин.
5. Построение графика скоростной девиации в программе Microsoft Excel – 5 мин.
6. Подведение итогов занятия, ответы на вопросы – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Компьютерный класс с персональными компьютерами с установленной программой MS Excel.
2. Мультимедиа проектор (для показа слайдов по теме занятия).
3. Плакат (на твердом или электронном носителе): «Скоростная девиация гироскопа».
4. Пластиковая или смарт-доска.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ ПО СКОРОСТНОЙ ДЕВИАЦИИ

Точность показаний современных гироскопов очень высока (обычно не хуже $\pm 0,5^\circ$). Несмотря на это, в показаниях ГК неизбежны систематические погрешности, которые должны быть скомпенсированы либо учтены как поправки. Основная систематическая погрешность любого ГК – скоростная девиация (speed & latitude error). Поясним механизм ее возникновения.

Положением равновесия чувствительного элемента гироскопа в азимуте является направление на истинный меридиан (полуденная линия NS). Причиной этого является суточное вращение Земли. ЧЭ ориентируется вдоль оси этого вращения.

Однако, такая ситуация будет справедлива только на неподвижном судне. При движении по сферической поверхности Земли, судно само совершает вращательное движение. В результате, имеют место два вращательных движения: суточное вращение Земли и движение судна по Земной сфере. Чувствительный элемент гироскопа на движущемся судне не может разделить эти два движения и реагирует, таким образом, на *суммарное вращение*.

Рассмотрим два случая:

1) Судно движется по параллели. Его движение происходит вокруг оси, совпадающей с земной (см. рисунок 7.1,а). Следовательно, векторы угловых скоростей земного вращения ($\vec{\omega}_z$) и судна ($\vec{\omega}_c$) совпадают. Гироскоп будет ориентироваться по вектору суммарного вращения $\vec{\omega}_\Sigma$, т.е. по-прежнему вдоль истинного меридиана. Скоростной девиации в этом случае не будет.

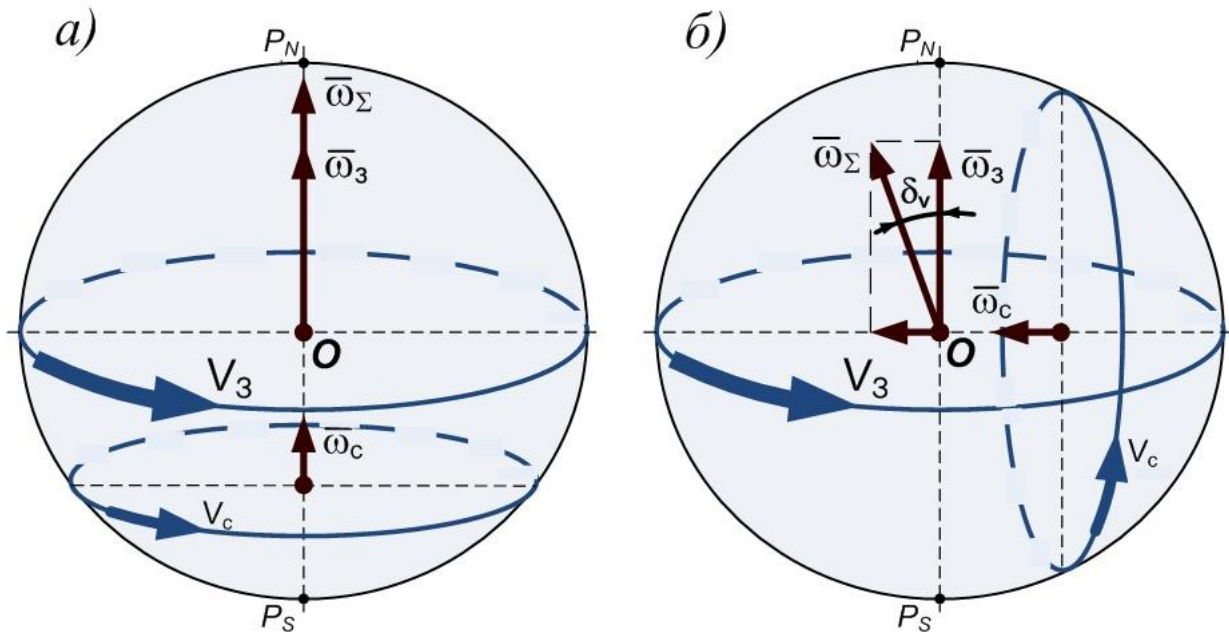


Рис. 7.1 – Суммарное вращение судна и Земли при движении судна:
а) по параллели; б) по меридиану

2) Судно движется по или параллельно меридиану. В этом случае оно совершает вращательное движение вокруг оси, перпендикулярной земной (рисунок 3, б), и, следовательно, векторы $\bar{\omega}_3$ и $\bar{\omega}_c$ перпендикулярны. Вектор суммарного вращения $\bar{\omega}_\Sigma$, очевидно, определится геометрической суммой этих двух векторов и уже не будет совпадать с земной осью. Суммарный вектор угловой скорости определит направление *компасного меридиана*, по которому и будет устанавливаться чувствительный элемент гирокомпаса.

При движении судна произвольным курсом имеется меридиональная (северная или южная) составляющая скорости судна, которая обуславливает несовпадение истинного и компасного меридианов, т.е. появление девиации.

Угол в плоскости горизонта, на который ось гирокомпаса отклоняется от плоскости меридиана вследствие движения судна с постоянной скоростью и курсом, называется скоростной девиацией (δ_v) гирокомпаса.

Скоростная девиация ГК является систематической погрешностью, которая, как следует из рисунка 3, зависит от скорости судна, его курса, а также от широты плавания. Выразим δ_v аналитически.

Горизонтальная (северная) составляющая угловой скорости Земли, на которую реагирует гирокомпас, равна

$$\omega_1 = \omega_3 \cdot \cos \varphi.$$

При движении судно имеет северную (V_N) и восточную (V_E) составляющие скорости (рисунок 7.2), которые определяют суммарное вращение:

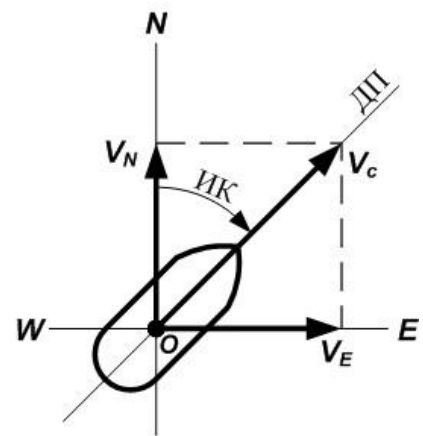


Рис. 7.2 – Составляющие скорости судна

$$\left. \begin{aligned} \omega_N &= \omega_3 \cos \varphi + \frac{V_E}{R_3} \\ \omega_E &= -\frac{V_N}{R_3} \end{aligned} \right\}, \quad (7.1)$$

где V_E – движение вдоль параллели, V_N – движение вдоль меридиана.

Обратимся к рисунку 7.3. Скоростную девиацию выразим через тангенс

$$\operatorname{tg} \delta_v = -\frac{\frac{V_N}{R_3}}{\omega_3 \cos \varphi + \frac{V_E}{R_3}} = -\frac{V_C \cos IK}{R_3 \omega_3 \cos \varphi + V_C \sin IK}. \quad (7.2)$$

Учитывая, что $R_3 \omega_3 = 900$ уз (величина постоянная), а для малых углов $\operatorname{tg} \delta_v \cong \delta_v$ (в радианах), получим формулу для скоростной девиации:

$$\delta_v = -\frac{V_C \cos IK}{900 \cos \varphi + V_C \sin IK}. \quad (7.3)$$

Формула (7.3) не практична, поскольку значение IK неизвестно и зависит в том числе и от девиации. Поэтому представим формулу (7.3) в более практичном виде – как функцию гирокомпасного курса (GKK). Умножая обе части равенства (7.2) на $\cos \delta_v$ и вместо IK подставляем ($GKK + \delta_v$), получаем

$$\sin \delta_v = -\frac{V_C \cos(GKK + \delta_v) \cos \delta_v}{R_3 \omega_3 \cos \varphi + V_C \sin(GKK + \delta_v)}.$$

Представим это равенство в следующем виде:

$$R_3 \omega_3 \cos \varphi \sin \delta_v = -(V_C \cos(GKK + \delta_v) \cos \delta_v + V_C \sin(GKK + \delta_v) \sin \delta_v).$$

Правая часть этого выражения представляет собой косинус разности углов ($GKK + \delta_v$) и δ_v , поэтому

$$R_3 \omega_3 \cos \varphi \sin \delta_v = -V_C \cos(GKK + \delta_v - \delta_v).$$

Учитывая, что $\sin \delta_v \cong \delta_v$, окончательно получим

$$\delta_v = -\frac{V_C \cos GKK}{900 \cos \varphi}. \quad (7.4)$$

Выражение (7.4) является основной формулой для расчета скоростной девиации. Отметим основные ее закономерности:

- возникновение скоростной девиации обуславливается наличием у судна северной составляющей скорости движения;
- девиация линейно зависит от скорости судна;
- девиация достигает максимального значения при движении судна вдоль меридиана и равна нулю при движении судна вдоль параллели; на северных курсах девиация δ_v отрицательна, на южных – положительна;

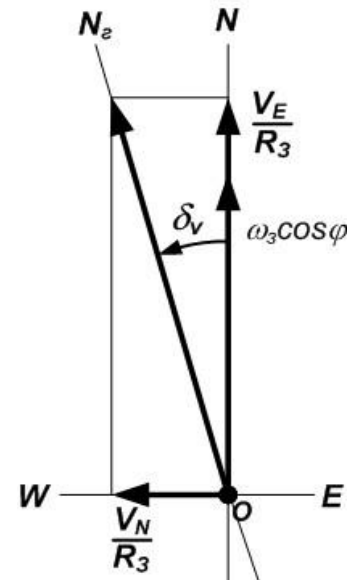


Рис. 7.3 – Скоростная девиация гирокомпаса

- зависимость девиации от широты определяется функцией $\sec \varphi = \frac{1}{\cos \varphi}$, поэтому особенно резкое увеличение ее численного значения происходит в широтах выше 70° .

Большинство современных гирокомпасов имеют в своем составе автоматические корректоры скоростной девиации, которые позволяют исправить показания ГК поправкой δ_v . Для этого необходимо подключить к ГК к датчику скорости и места (приемнику GPS/ГЛОНАСС и/или лагу). Далее встроенное в ГК вычислительное устройство производит расчет скоростной девиации по формуле (7.4). При этом главная ось ГК остается в плоскости гирокомпасного меридиана (в положении своего равновесия), а с основного прибора на все принимающие устройства передается уже поправленное значение курса. Если подключение к ГНСС недоступно, то широту и скорость судоводитель должен периодически вводить вручную.

Если в ГК неисправна система коррекции либо ее нет (как в старых ГК для речных судов), то скоростную девиацию приходится учитывать аналитически. Предвычисленные значения δ_v для скорости 10 узлов сведены в специальную таблицу скоростной девиации (обычно есть в мануалах к ГК). Для других значений скорости судна выбранную из таблицы величину необходимо умножить на $0,1V_c$.

Таблица 7.2 – Таблица скоростной девиации гирокомпаса

Курс по гирокомпасу (ГКК)				Широта φ°						
-	+	+	-	30	40	50	55	60	65	70
0	180°	180°	360°	0,7°	0,8°	1,0°	1,1°	1,3°	1,5°	1,9°
10	170	190	350	0,7	0,8	1	1,1	1,2	1,5	1,8
20	160	200	340	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,8
30	150	210	330	0,6	0,7	0,9	1	1,1	1,3	1,6
40	140	220	320	0,6	0,6	0,8	0,8	1	1,2	1,4
50	130	230	310	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2
60	120	240	300	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9
70	110	250	290	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6
80	100	260	280	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
90	90	270	270	0	0	0	0	0	0	0

Понятие о критической широте

Еще одним интересным следствием движения по поверхности Земли является наличие так называемой *критической широты*.

Северная составляющая угловой скорости суммарного движения судна и Земли, в соответствии с (7.1), определяется выражением

$$\omega_N = \omega_3 \cos \varphi + \frac{V_E}{R_3}.$$

Предположим, что движение по поверхности Земли происходит в западном направлении, т.е. навстречу земному вращению. При определенном значении V_E суммарная угловая скорость ω_N станет равной нулю. Данное явление произойдет в критической широте, которую можно вычислить по формуле:

$$\cos \varphi_{кр} = -\frac{V_E}{R_3 \omega_3} = -\frac{V_C \sin IK}{900}.$$

С точки зрения физики при указанных условиях наблюдается факт «остановки» Земли (западная составляющая $-V_E$ линейной скорости судна компенсирует линейную скорость места судна в его суточном вращении), т.е. плоскость истинного горизонта наблюдателя в инерциальном пространстве не вращается и главная ось гирокомпаса равновесного положения не имеет.

Данное явление требуется учитывать, прежде всего, в авиации, где скорости воздушных судов на порядок больше, а критические широты, как следствие, меньше. Это тот случай, когда можно вылететь из Хабаровска в 8 часов утра и прилететь в Москву точно в такое же время.

Критическая широта является лишним доказательством того, что в высоких широтах гироскопический компас практически неработоспособен.

3. РАЗБОР ТИПОВЫХ ЗАДАЧ ПО СКОРОСТНОЙ ДЕВИАЦИИ

1. Вследствие неисправности корректора требуется рассчитать численное значение и определить знак поправки ΔGK гирокомпаса на скоростную девиацию при следующих параметрах движения контейнерного судна: $V = 25$ уз, $KK = 205^\circ$, $\varphi = 59^\circ N$ (Балтийское море).

Решение: Подставляя исходные данные в выражение (4), получим:

$$\sin \delta_v = -\frac{25 \cos 205}{900 \cos(59)} = 0,049.$$

Отсюда $\delta_v = +2,8^\circ (2,8^\circ E)$, а поправка соответственно $\Delta GK = -2,8^\circ$.

Аналогичное (но менее точное значение) можно было бы получить и из таблицы 1.

Как видно, значения скоростных девиаций на быстроходных судах довольно значительны (например, для скоростных контейнеровозов – до 4° в широтах до 60°), их неучет может привести к значительным экономическим и временным затратам вследствие ошибок при следовании на маршруте.

2. Рассчитать критическую широту гирокомпаса на судне, движущемся со скоростью $V = 30$ уз. курсом $IK = 270^\circ$.

Решение:

$$\cos \phi_{кр} = -\frac{30 \cdot (-1)}{900} = 0,033; \phi_{кр} = 88^\circ 06'.$$

Как видно, данное явление для коммерческих судов не актуально.

3. Определить, каким курсом следует судно, если скоростная девиация составляет 1° , скорость судна – 26 уз., а широта – 50°N ?

Решение: Получим из формулы (4) выражение для компасного курса (ГКК):

$$\delta_v = -\frac{V_c \cos \text{ГКК}}{900 \cos \varphi}, \text{ откуда } \cos \text{ГКК} = -900 \cos \varphi \cdot \frac{\delta_v}{V_c}.$$

Выразим δ_v в радианах: $\delta_v = \frac{1^\circ}{57,3} = 0,017$. Подставим в формулу выше:

$$\cos \text{ГКК} = -900 \cos 50 \cdot \frac{0,017}{26} = -0,38,$$

откуда $\text{ГКК} = 112^\circ$. ИК = $\text{ГКК} + \delta_v = 112^\circ + 1^\circ = 113^\circ$.

Типовые тестовые задания с ответами представлены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Тестовые задания на тему «Скоростная девиация гирокомпаса»

№	Вопрос	Варианты ответа	Балл
1	Когда скоростная девиация гирокомпаса максимальна?	а) при движении судна с постоянным курсом и скоростью б) при движении судна по параллели в) при движении судна по меридиану г) при движении судна на интеркардинальных курсах	8
2	От чего НЕ зависит скоростная девиация гирокомпаса?	а) От величины крена судна б) От курса в) От скорости г) От широты места	8
3	Скоростная девиация обусловлена	а) составляющей скорости движения судна вдоль меридиана б) составляющей скорости движения судна вдоль параллели в) Изменением скорости судна при осуществлении маневра г) Изменением составляющей угловой скорости Земли при движении судна в широтах, не совпадающих с конструктивной широтой гирокомпаса	8
4	Как зависит скоростная девиация от скорости судна?	а) Нелинейно. Определяется множителем $\sec \varphi$ б) Линейно в) Не зависит от скорости судна г) Зависимость квадратичная	8
5	Показания каких приборов используются в гирокомпасе для автоматической коррекции скоростной девиации?	а) Лага и авторулевого б) Лага, авторулевого и GPS в) Лага и GPS г) GPS, магнитного компаса и лага	8
6	Что такое "критическая широта" гирокомпаса?	а) Широта, в которой динамические погрешности гирокомпаса превышают допустимые ИМО значения по точности гирокомпасов б) Расчетная широта, период незатухающих колебаний в которой равен периоду Шулера в) Широта, в которой наблюдается факт "остановки Земли" и гирокомпас теряет равновесное положение г) Широта, в которой для прихода в меридиан гирокомпасу требуется более 6 часов	8
7	Какую девиацию гирокомпаса следует учитывать вручную при неисправности автоматического корректора?	а) Инерционную б) Интеркардинальную в) Баллистическую г) Скоростную	8
8	Когда скоростная девиация гирокомпаса равна нулю?	а) При движении судна с постоянным курсом и скоростью б) При движении судна по параллели в) При движении судна по меридиану г) При движении судна на интеркардинальных курсах	8
9	Таблица скоростной девиации ГК составлена для скорости $V_c = 10$ уз. Как определить значение скоростной девиации для произвольной скорости?	а) Умножить на $0,1V_c$ б) Умножить на V_c в) Умножить на $\sec \varphi$ г) Умножить на поправочный коэффициент для данной широты	8

Продолжение таблицы 2.

10	Табличное значение скоростной девиации ГК для скорости $V_c=10$ уз. составляет $0,8^\circ$. Судно идет со скоростью 20 уз. Определите реальное значение СД.	а)	$0,4^\circ$	8
		б)	$0,8^\circ$	
		в)	$1,2^\circ$	
		г)	$1,6^\circ$	
11	Каких величин могут достигать значения скоростной девиации ГК для нескоростных торговых судов в широтах до 60° ?	а)	$0,1^\circ-0,5^\circ$	8
		б)	$0,5^\circ-1,5^\circ$	
		в)	$2^\circ-3^\circ$	
		г)	$5^\circ-10^\circ$	
12	Из каких данных составлена таблица скоростной девиации гирокомпаса?	а)	Курс судна, скорость судна, значение скоростной девиации	8
		б)	Скорость судна, значение скоростной девиации	
		в)	Курс судна, широта плавания, значение скоростной девиации	
		г)	Скорость судна, широта плавания, значение скоростной девиации	
13	Почему таблицы скоростной девиации для разных гирокомпасов различны?	а)	Из-за различия кинетических моментов гирокомпасов	8
		б)	Из-за различия скоростных характеристик судов	
		в)	Из-за различия расчетных широт гирокомпасов разных типов	
		г)	Таблицы скоростной девиации одинаковы для всех ГК	
14	В каком из этих случаев движения судна скоростная девиация гирокомпаса будет наименьшей?	а)	$V = 18$ узл., ГKK = 25°	8
		б)	$V = 15$ узл., ГKK = 20°	
		в)	$V = 18$ узл., ГKK = 155°	
		г)	$V = 15$ узл., ГKK = 75°	
15	В каком из этих случаев движения судна скоростная девиация гирокомпаса будет наименьшей?	а)	$V = 20$ узл., ГKK = 265°	8
		б)	$V = 20$ узл., ГKK = 30°	
		в)	$V = 25$ узл., ГKK = 190°	
		г)	$V = 15$ узл., ГKK = 5°	
16	В каком случае скоростная девиация максимальна?	а)	$V = 28$ узл., ГKK = 265°	8
		б)	$V = 22$ узл., ГKK = 70°	
		в)	$V = 25$ узл., ГKK = 110°	
		г)	$V = 26$ узл., ГKK = 5°	
17	В каком случае движения судна скоростная девиация минимальна?	а)	$V = 12$ узл., ГKK = 205°	8
		б)	$V = 14$ узл., ГKK = 85°	
		в)	$V = 10$ узл., ГKK = 170°	
		г)	$V = 16$ узл., ГKK = 15°	

В заданиях 14–17 необходимо обращать внимание на компасный курс судна. Если он близок к географической параллели (90° и 270°), то скоростная девиация будет минимальной. Если ГKK близок к меридиональному (0 и 180°), то максимальной.

4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОПОДГОТОВКИ ПО СКОРОСТНОЙ ДЕВИАЦИИ

1. Определить скоростную девиацию ГК на судне, движущемся со скоростью 26 уз. в широте 54° курсом 12° ?
2. Определить скоростную девиацию ГК на судне, движущемся со скоростью 12 уз. в широте 30° курсом 290° ?
3. Определить максимальную скоростную девиацию, которая может иметь место в ГК на быстроходном катере ($V = 35$ уз.) на рейде порта Севастополь.

4. Определить максимальную скоростную девиацию, которая может иметь место в ГК на быстроходном катере ($V = 35$ уз.) на рейде порта Мурманск ($\varphi = 69^\circ \text{N}$).
5. Определить, каким курсом идет судно, если скоростная девиация составляет $0,8^\circ$, скорость судна – 19 уз., а широта – 60° ?
6. Определить широту плавания судна, если судно идет со скоростью 24 уз., курс 160° , а скоростная девиация при этом $1,2^\circ$.
7. Определить широту плавания судна, если судно идет со скоростью 30 уз., курс 180° , а скоростная девиация при этом $3,5^\circ$.
8. С какой скоростью движется судно, если скоростная девиация ГК на курсе 5° в широте 55° составляет 5° ?
9. Начиная с какой широты, у судна, имеющего максимальную скорость хода 30 уз., могут возникать скоростные девиации гирокомпаса более 4° ?
10. На какой широте у быстроходного контейнеровоза ($V_{\max} = 25$ уз.) могут возникать скоростные девиации гирокомпаса более 2° ?
11. На какой широте гирокомпас ледокола «50 лет Победы» ($V_{\max} = 21$ уз.) может иметь скоростную девиацию более 10° ?
12. Определить критическую широту гирокомпаса на судне, движущемся со скоростью 40 уз. курсом 75° , 90° , 135° ?

5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ ПО ИНЕРЦИОННОЙ ДЕВИАЦИИ

Когда судно начинает маневрировать (изменять курс или скорость), возникают силы инерции, которые прикладываются к смещенному центру тяжести чувствительного элемента и как внешние силы вызывают его маятниковую прецессию вокруг оси вертикальной оси OZ . Под действием жидкостного демпфера эта вредная прецессия довольно быстро затухнет (через 10-20 минут), однако сразу после осуществления маневра в показаниях гирокомпаса будет иметь место *инерционная (баллистическая) девиация*.

В соответствии с теорией скоростной девиации, приведенной в пункте 2, до маневра судно имело скорость V_1 и компасный курс $ГКК_1$, а положение равновесия (направление компасного меридиана) определялось углом скоростной девиации δ_{v1} в соответствии с формулой

$$\delta_{v1} = -\frac{V_1 \cos ГКК_1}{900 \cos \varphi}.$$

После маневра значения скорости и курса изменились, что определило новое направление компасного меридиана в соответствии со значением δ_{v2}

$$\delta_{v2} = -\frac{V_2 \cos ГКК_2}{900 \cos \varphi}.$$

Таким образом, с позиции минимального необходимого перемещения положения равновесия ось N гирокомпаса должна переместиться на угол

$$\delta_v = \delta_{v1} - \delta_{v2} = -\frac{\Delta V_N}{900 \cos \varphi},$$

где

$$\Delta V_N = V_2 \cos \Gamma K K_2 - V_1 \cos \Gamma K K_1.$$

Перемещение из одного компасного меридиана в другой произойдет без колебаний только в случае, если период колебаний чувствительного элемента будет равен периоду маятника Шулера (84,4 мин), что возможно технически реализовать для определенной широты. Во всех других широтах будет иметь место инерционная девиация первого рода, которая, как доказывается в теории гирокомпаса, выражается формулой

$$\delta_j^I = (\delta_{v2} - \delta_{v1}) \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi^*} - 1 \right).$$

Рассмотрим пример.

Требуется рассчитать значение инерционной девиации после осуществления судном циркуляции со следующими параметрами: $V_1 = 20$ уз; $\Gamma K K_1 = 0$; $V_2 = 15$ уз; $\Gamma K K_2 = 180^\circ$; $\varphi^ = 60^\circ N$; $\varphi = 70^\circ N$.*

Сначала рассчитаем скоростные девиации δ_{v1} и δ_{v2} :

$$\begin{aligned} \delta_{v1} &= -\frac{V_1 \cos \Gamma K K_1}{900 \cos \varphi} \cdot 57,3 = \frac{20 \cdot 1}{900 \cdot 0,34} \cdot 57,3 = -3,7^\circ, \\ \delta_{v2} &= -\frac{V_2 \cos \Gamma K K_2}{900 \cos \varphi} \cdot 57,3 = \frac{15 \cdot (-1)}{900 \cdot 0,34} \cdot 57,3 = 2,8^\circ. \end{aligned}$$

Множитель 57,3 введен в формулы для перевода окончательных значений скоростных девиаций из радианной меры в градусную. Далее рассчитаем инерционную девиацию первого рода по формуле (1.9):

$$\delta_j^I = (2,8 - (-3,7)) \left(\frac{0,34}{0,5} - 1 \right) = -2,1^\circ (2,1W).$$

Задачи для самоподготовки:

1. Рассчитать максимальное значение инерционной девиации ГК TG-5000 (“Токуо Кеики”, $\varphi^* = 55^\circ N$) после набора судном скорости с 0 до 25 узлов на выходе из порта Санкт-Петербург и одновременном осуществлении правой циркуляции на 90° (начальный $\Gamma K K = 60^\circ$).
2. Скоростная яхта выходит из порта Анкоридж (Аляска) (начальная скорость 6 узлов, гирокомпасный курс 100°), после чего набирает максимальную скорость 40 узлов и выходит на курс 200° . Рассчитать максимальное значение ИД 1 рода. На яхте установлен ГК CMZ-300 компании Yokogawa ($\varphi^* = 55^\circ N$).

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните механизм возникновения скоростной девиации гирокомпаса.
2. При каких параметрах движения судна скоростная девиация не возникает?

3. Когда скоростная девиация ГК равна нулю/максимальна? Почему?
4. Какие виды коррекции скоростной девиации предусмотрены в ГК?
5. Какая информация необходима для расчета скоростной девиации ГК?
6. По какой формуле рассчитывается скоростная девиация ГК?
7. Что такое «компасный меридиан», «истинный меридиан», «компасный курс», «истинный курс»?
8. Каких значений может достигать скоростная девиация ГК?
9. Поясните явление «критической широты». Насколько оно актуально для коммерческих судов?
10. В каких случаях имеет место инерционная девиация гирокомпаса?
11. Каким термином обозначается инерционная девиация гирокомпаса 1-го рода?
12. Каким термином обозначается инерционная девиация 2-го рода?
13. Какая сила вызывает баллистическую девиацию гирокомпаса?
14. Чем обусловлена инерционная девиация 1-го рода?
15. В каком случае инерционная девиация ГК будет наибольшей?
16. Каких величин могут достигать значения суммарной инерционной девиации ГК для нескоростных торговых судов в широтах до 60° ?
17. Сколько времени в гирокомпасе могут наблюдаться инерционные погрешности после окончания маневра судна?
18. Когда у гирокомпаса не будет инерционной девиации 1-го рода при осуществлении маневра?
19. Чему равен период Шулера?
20. Как называется бесколебательный переход гирокомпаса в новый гирокомпасный меридиан при маневре судна в конструктивной широте?
21. Как называются гирокомпасы, способные в некотором диапазоне широт изменять период собственных колебаний гиросферы для обеспечения равенства его периоду Шулера?
22. В каких пределах находятся значения конструктивных широт для маятниковых гирокомпасов?

7. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Чапчай П.А. Электронавигационные приборы: учебное пособие / П.А. Чапчай. – 2-е изд. – Одесса: ОНМА, 2012. – 161 с.
2. Каретников В.В. Технические средства судовождения: учебник / В.В. Каретников. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 316 с.
3. Смирнов Е.Л. Технические средства судовождения: учебник / Е.Л. Смирнов, А.В. Яловенко, В.В. Сизов. – С-Пб.: Элмор, 2015. – 656 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8.

УСТРОЙСТВО И ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИРОКОМПАСА С КОСВЕННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Формируемые компетенции

Формируемая компетенция	Владения	Умения	Знания
Компетенции согласно ФГОС			
Уметь использовать и обслуживать технические средства судовождения , судовых систем связи и оповещения, судовой энергетической установки и вспомогательных механизмов (ПК-10)	—	Различать основные элементы ГК с косвенным управлением; использовать ГК такого типа	Основные элементы и особенности работы гирокомпаса с косвенным управлением
Компетенции согласно Кодексу ПДНВ (Раздел А-II/1. Функция «Судовождение на уровне эксплуатации». Сфера компетентности: «Планирование и осуществление перехода и определение местоположения»)			
Знать принципы действия магнитных и гироскопических компасов (К-8)	—	—	Устройство гироскопического компаса с косвенным управлением

Объем: 2 академических часа.

Количество обучаемых: подгруппа численностью до 13 чел.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по пройденным темам «Устройство ГК с непосредственным управлением» и «Модели гирокомпасов» – 10 мин.
2. Изучение устройства гирокомпаса – 30 мин.
3. Работа ГККУ в режиме компаса – 20 мин.
4. Работа ГККУ в режиме гироазимута – 20 мин.
5. Подведение итогов занятия – 10 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Гирокомпас с косвенным управлением класса типа PGM-C/ «AlphaMiniCourse» (см. рис. 8.1) и/или «Вега».
2. Мультимедиа проектор (для показа слайдов по теме занятия).
3. Плакат «Современные гирокомпасы».
4. Пластиковая или смарт-доска.



Рис. 8.1 – Гирокомпас с косвенным управлением PGM-C-009

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Устройство и принцип работы гирокомпаса с косвенным управлением

Гирокомпас с косвенным управлением (ГККУ) представляет собой компас, чувствительный элемент которого (астатический гироскоп) совершает прецессию под действием внешних моментов, пропорциональных углу отклонения главной оси гироскопа от горизонта. Последние налагаются специальными миниатюрными двигателями (датчиками момента), управляемыми по сигналам внешнего датчика положения ЧЭ (индикатора горизонта). Индикатор горизонта вырабатывает электрический сигнал, который после усиления поступает на датчики момента, приводящие по вращению рамки подвеса ЧЭ.

Рассмотрим классическую схему построения ГК с косвенным управлением (рис. 8.2), реализованную в ГК серии «Вега». В качестве ЧЭ используется астатический гироскоп, которому карданный (или иной) подвес обеспечивает три степени свободы. Индикатор горизонта (ИГ) так укреплен на гирокомпасе, что может участвовать в движении гироскопа по высоте и измерять угол β наклона главной оси ЧЭ к плоскости горизонта.

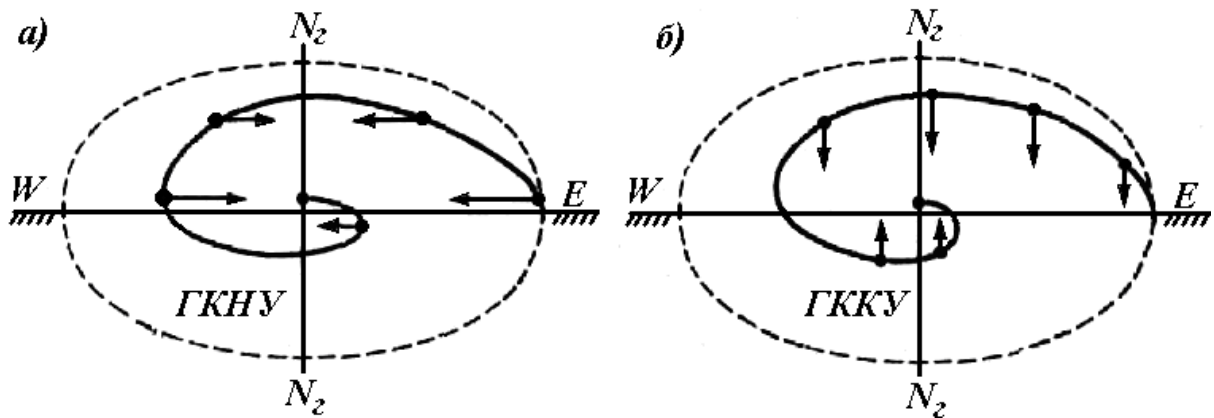


Рис. 8.3. Погашение незатухающих колебаний методом горизонтального (а) и вертикального (б) моментов

Датчик угла $ДУ$, усилитель $У$ и исполнительный двигатель $ИД$ совместно с рамкой 4 являются элементами следящей системы гирокомпаса, которая отрабатывает любое изменение курса судна и удерживает угол между рамками 2 и 3 равным 90° . При этом двигатель $ИД$ разворачивает датчик курса $ДК$ на угол, равный изменению курса судна, который электрическим путем передается на принимающие курса.

В гирокомпасе с косвенным управлением имеются более широкие возможности для автоматической коррекции возникающих в процессе работы девиаций (широтной, скоростной). С этой целью в ГК применяется вычислительное устройство ВУ, которое по информации по широте φ , скорости V и курсу $ИК$ судна формирует корректирующие сигналы в виде напряжений $U_{кy}$ и $U_{кz}$, которые также подаются на датчики $ДМ_y$ и $ДМ_z$ для получения корректирующих моментов. Корректирующие моменты предназначены для обеспечения нулевого значения координат главной оси гироскопа в положении равновесия при стационарном движении судна.

Таким образом, между ГК с косвенным управлением и ГК с непосредственным управлением имеется фундаментальное отличие. В ГКНУ чувствительный элемент всегда находится в своем (компасном) меридиане, а использующееся там корректирующее устройство вычисляет соответствующую поправку и передает ее на все принимающие курса. В ГККУ девиации исключаются путем корректировки положения самого чувствительного элемента путем наложения соответствующих корректирующих моментов. В этой связи ГК с косвенным управлением является гирокомпасом с корректируемым чувствительным элементом (часто называют просто – корректируемым гирокомпасом).

2.2 Индикатор горизонта

Ключевым устройством, обеспечивающим реализацию компасного эффекта в ГК с косвенным управлением, является индикатор горизонта. Рассмотрим его более детально.

Индикатором горизонта (ИГ) называется чувствительный элемент, выполненный в виде плоского физического маятника и предназначенный для выработки

электрического сигнала, пропорционального углу отклонения от плоскости горизонта того основания, на котором он установлен.

Обычно ИГ вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный отклонению относительно какой-либо одной оси того основания, на котором он установлен. В современных ИГ выходным сигналом является электрическое напряжение, пропорциональное углу β .

Упрощенно устройство ИГ представлена на рис. 8.4. В герметичной камере 1, заполненной вязкой жидкостью 2, размещен маятник, выполненный в виде стержня 3, имеющего на конце массу m . Второй конец стержня закреплен в цапфе, которая может поворачиваться в опорах вращения вокруг оси, перпендикулярной плоскости рисунка. Упрощенно считаем маятник невесомым, массу – сосредоточенной, движение маятника – плоским, сухое трение в подвесе – отсутствующим. На основании принятых допущений подобный маятник можно считать математическим. Информация об углах отклонения маятника по отношению к корпусу камеры снимается с ротора 5 датчика угла, статор которого 6 закреплен в камере, установленной на основании 7. Упоры 8 ограничивают углы отклонения маятника.

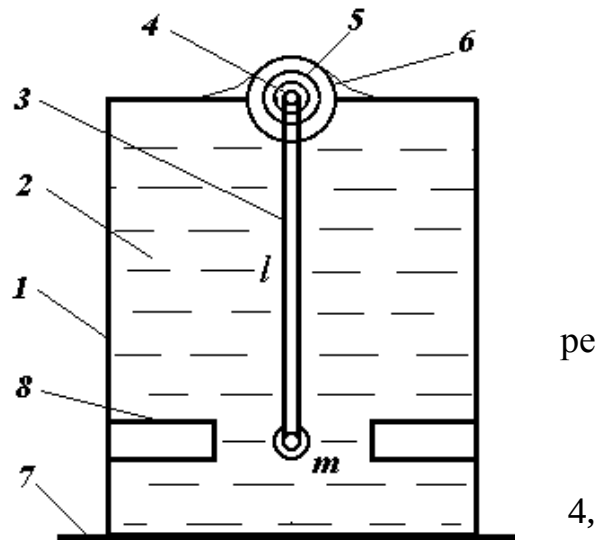


Рис. 8.4. Устройство индикатора горизонта

Вязкая жидкость в ИГ используется для целей снижения инерционных погрешностей маятника, которые, как следствие, будут вызывать инерционные погрешности giroкомаса. Величина демпфирующего момента настолько велика, что колебания не происходят, а имеет место практически апериодический переход маятника из одного положения равновесия в другое.

3. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ УСТРОЙСТВА ГИРОКОМАСА ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ

1. Изучить состав комплекта ГКУ.
2. Открыть корпус giroкомаса, изучить внутренние элементы ГК и их предназначение.
3. Изучить схему соединений основного блока giroкомаса.
4. Рассмотреть и изучить устройство чувствительного элемента.
5. Рассмотреть принцип и продемонстрировать работу ГКУ в режиме компаса.
6. Рассмотреть принцип и продемонстрировать работу ГКУ в режиме giroазимута.
7. Разбор особенностей включения, прихода в меридиан и эксплуатации ГКУ.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается отличие современных гирокомпасов с косвенным управлением от классических маятниковых?
2. Как реализован компасный эффект (принцип поиска севера) в ГК с косвенным управлением?
3. Какой гироскоп использован в современных гирокомпасах с косвенным управлением в качестве чувствительного элемента?
4. В каких режимах может работать гирокомпас с косвенным управлением?
5. Поясните термин "косвенное управление" чувствительным элементом (в современных безжидкостных гирокомпасах)?
6. Подберите англоязычный эквивалент термину "гирокомпас с косвенным управлением"?
7. Как осуществляется коррекция девиаций в гирокомпасе с косвенным управлением?
8. На судне какого типа целесообразно сделать выбор в пользу гирокомпаса с косвенным управлением?
9. Какой сигнал вырабатывает индикатор горизонта (в гирокомпасах с косвенным управлением)?
10. Какая девиация присуща только гирокомпасам с косвенным управлением?
11. Чем обусловлен дрейф гирокомпаса с косвенным управлением?
12. Какой подвес чувствительного элемента используется в гирокомпасах с косвенным управлением?
13. Назовите основные модели ГК с косвенным управлением?
14. Сравните ГК с косвенным управлением и маятниковые ГК. Преимущества и недостатки каждого типа.
15. Как устроен датчик (индикатор) горизонта в ГК с косвенным управлением?

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Чапчай П.А. Электронавигационные приборы: учебное пособие / П.А. Чапчай. – 2-е изд. – Одесса: ОНМА, 2012. – 161 с.
2. Каретников В.В. Технические средства судовождения: учебник / В.В. Каретников. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 316 с.
3. Смирнов Е.Л. Технические средства судовождения: учебник / Е.Л. Смирнов, А.В. Яловенко, В.В. Сизов. – С-Пб.: Элмор, 2015. – 656 с.

ГИРОСКОПИЧЕСКИЕ КОМПАСЫ

*Методические указания
к практическим занятиям*

Составители: **Подпорин** Сергей Анатольевич, **Загородний** Алексей Алексеевич,
Михайлов Владимир Викторович, **Аркин** Леонид Владимирович

Издается в авторской редакции

Изд. № 111/19. Объем 4,25 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»