

Методические материалы для обучающихся
по освоению дисциплины

Автоматизация судовождения

Направление 26.05.05 Судовождение

Специализация «Судовождение на морских путях»

Мурманск
2023

Составитель: Пашенцев С.В., канд. физ.-мат. наук, профессор,
профессор кафедры судовождения ФГАОУ ВО «МАУ»

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины
«Автоматизация судовождения» рассмотрены и одобрены на заседании кафедры
судовождения « 11 » 09 2023г., протокол № 01/23.

Общие организационно-методические указания

Методические указания составлены на основе ФГОС ВО по специальности 26.05.05 Судовождение, утвержденного Министерством науки и образования РФ 15.03.2018 приказ № 191, требований Международной Конвенции ПДНВ (с поправками) для конвенционных специальностей ИМА МГТУ, образовательной программы по специальности 26.05.05 Судовождение, специализации «Судовождение на морских путях».

Дисциплина «Автоматизация судовождения» (АС) относится к блоку обязательных дисциплин, и предназначена для курсантов курса 6 семестра А обучения специальности «Судовождение».

Самостоятельная работа является одним из важнейших видов учебных занятий. Она проводится вне сетки аудиторных часов, выполняется курсантом по указаниям преподавателя, но без его непосредственного участия.

Целью самостоятельной работы является:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся;
- углубление и расширение теоретических знаний, полученных в лекционном курсе;
- формирование умения использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу по дисциплине;
- развитие познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и самоорганизованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие базовых исследовательских навыков.

В процессе обучения кроме лекций и практических занятий, курсанты проводят самостоятельное изучение ряда тем, сдают зачет.

Решение задачи подготовки квалифицированного специалиста соответствующего уровня и профиля невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом.

Содержание самостоятельной работы по курсу определено учебным планом и рабочей программой данной дисциплины, разработанных в соответствии с ФГОС ВО по специальности 26.05.05 «Судовождение».

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО и требованиями Конвенции ПДНВ по специальности 26.05.05 Судовождение, специализации «Судовождение на морских путях».

Таблица 1 -Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (промежуточная аттестация - зачет)

№	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения (недели сдачи)
		min	max	
Текущий контроль				

1.	Выполнение практических работ	15	32	
2.	Тестовый контроль	12	26	
3.	Посещение занятий	11	21	
	ИТОГО	38	79	
Промежуточная аттестация				
	Зачет	12	21	
	ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	50	100	

Таблица 2 Тематический план

№ № п/п	Наименование тем и содержание самостоятельной работы
1.	Введение. Предмет и значение дисциплины, ее связь с технической кибернетикой.
2.	Элементы теории абстрактных систем. Система и ее модель. Методы описания моделей. Линейные системы и их использование в судовождении.
3.	Элементы теории информации. Измерение информации. Общие принципы решения задач по восстановлению сообщений.
4.	Управляемые системы. Общее описание управляемой системы и ее механизма функционирования.
5.	Оптимальное управление. Понятие об адаптивных системах управления.
6.	Элементы теории автоматического регулирования. Передаточная функция, анализ и синтез системы автоматического регулирования. Устойчивость системы. Переходные процессы в линейных системах автоматического регулирования. Выбор оптимального варианта функционирования.
7.	Система автоматического регулирования курсом судна. Математическая модель системы, выбор режима оптимального функционирования системы автоматического регулирования курсом. Оценка качества регулирования курсом судна.
8.	Понятие об адаптивных авторулевых. Надежность систем автоматического регулирования. Настройка органов управления рулевым приводом для работы в оптимальном режиме.
9.	Информационно-измерительные системы, используемые в судовождении. Системы отображения навигационной информации. Интегрированная система мостик.
10	Современные методы навигационных измерений. Обработка и хранение навигационной информации.
11	Информационная и математическая модель операции расхождения судов. Последовательность этапов решения задачи расхождения и временные затраты
12	Принципы автоматизации обнаружения, автозахвата, автосопровождения целей. Оценка успешности решения каждой операции. Вычисление и индикация элементов сближения на экране САРП.
13	Оценка ситуации опасного сближения. Прогнозирование кратчайшего расстояния и времени кратчайшего сближения. Выбор вида и времени маневра. Оценка безопасной скорости движения.
14	Особенности деятельности судоводителя в эргатической системе управления, его физические и психологические возможности при обработке информации и принятии рациональных решений. Способности оператора САРП распознавать и оценивать сложные ситуации.
Итого:	

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

Лекции текущего года

1. Родионов А. И., Сазонов А. Е. Автоматизация судовождения. Учебник для вузов – 2 изд. перераб. и доп.- М.: Транспорт, 1983. - 216с.
2. Вагущенко Л. А., Стафеев А. М. Судовые автоматизированные системы навигации. -М.: Транспорт. 1989. - 157с.
3. Орлов В. А. Автоматизация промышленного судовождения. - М.: Агропромиздат. 1989. -266с.
4. Якушенко А. А. Автоматизация судовождения. - М.: Транспорт. 1967. - 354с.
5. Долматов Б.П., Орлов В.А., Шишло Ю.В.

Дополнительная литература

6. Прохоренков А. М., Солодов В.С., Татьянченко Ю.Г. Судовая автоматика. Учебное пособие для вузов МРХ. 1992. -446с.
7. Мордовченко Д. Н. и др. Техническая эксплуатация авторулевых. - М.: Транспорт. 1986. - 123с.
8. Гагарский Д. А. Электронная картография. Краткий курс лекций. - СПб: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2003. - 48с.
9. Конспект лекций по дисциплине «Автоматизация судовождения»
10. Методические указания к выполнению РГР №1 и РГР №2. Электронный ресурс, 2017, №
11. Методические указания к выполнению курсового проекта. Электронный ресурс, 2017, №

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение

В результате самостоятельного изучения данной темы курсант должен усвоить такие понятия как предмет и значение дисциплины, составные части дисциплины, общие принципы автоматизации управления, внутренние дисциплинарные связи, междисциплинарные связи в цикле подготовки штурмана.

Рекомендуемая литература: [8], [3].

Тема 2. Элементы теории абстрактных систем.

В результате самостоятельного изучения данной темы курсант должен усвоить такие понятия как объект и система, а также сформулировать их аксиоматики. Кроме того, акцентировать свое внимание на моделях систем и процессов, которые протекают в них. Особое внимание следует уделить линейным моделям систем и объектов, а также их использованию в судовождении при оценке уровня безопасности мореплавания или навигации.

Рекомендуемая литература: [8], [3].

Вопросы для самопроверки

1. Как можно определить понятия объект и система?
2. Какими соотношениями могут быть связаны объект и его модель?
3. Что такое процесс при заданной структуре объекта?
4. Какими признаками обладает линейный процесс?
5. Сформулируйте основной признак эргодичности процесса
6. Что такое безопасная навигация и безопасность мореплавания?

Тема 3. Элементы теории информации.

При самостоятельном изучении данной темы необходимо обратить внимание на понятие информации и мер измерения этой информации. Кроме того, следует усвоить, что информационный процесс - основа управления объектом или системой. Применительно к задачам

навигации необходимо уяснить суть навигационной и промысловой информации, принципы кодирования и декодирования информации. Далее следует акцентировать свое внимание на понятии энтропии и ее основных свойствах, а также разобраться в сути перехода от аналоговой формы сигнала к его дискретному аналогу при минимуме энтропии.

Рекомендуемая литература: [8], [1], [3].

Вопросы для самопроверки

1. Что такое информация?
2. Как она выражается через вероятности состояний?
3. Что такое энтропия?
4. Как определяется энтропия?
5. Сформулируйте две теоремы Шеннона
6. Сформулируйте теорему Тихонова.

Тема 6. Элементы теории автоматического регулирования

При изучении данной темы следует в первую очередь освоить основы операционного исчисления и разобраться в общих представлениях об алгебре и структуре порядка. После этого обратить внимание на принципы построения линейных систем автоматического регулирования (САР) и методы их классификация. При изучении этой темы следует обратить внимание на элементную базу линейных систем автоматического регулирования. Кроме того, вникнуть в суть различий между замкнутыми и разомкнутыми системами, обязательного наличия в системе управления обратной связи и, наконец, обратить серьезное внимание на состав и назначение, статистические характеристики элементов систем.

Далее составить представление о передаточной функции линейной системы. Разобраться в сути описания системы с помощью дифференциального уравнения и передаточной функции. Составить представление об анализе линейных систем их типовых звеньях и передаточных функциях последних. Кроме того, следует обратить особое внимание на синтез линейных систем, переходные процессы идущие в них. Наконец составить представление об устойчивости линейных систем и критериях устойчивости.

Рекомендуемая литература: [8], [1], [4], [5].

Вопросы для самопроверки

1. Что такое обратная связь и какова ее роль в работе замкнутой линейной системе?
2. Какие функции выполняют отдельные элементы линейной системы?
3. Что такое передаточная функция?
4. Что следует понимать под термином «типовое звено» в теории линейных систем?
5. Как найти передаточные функции последовательного, параллельного и встречно-параллельного соединения звеньев линейных систем?
6. Какая линейная система является устойчивой?

Тема 7. Система автоматического регулирования курсом судна

При изучении этой темы следует обратить внимание на динамические характеристики судна, как объекта регулирования с помощью органов управления. Далее рассмотреть подход к составлению модели управляемой системы «судно» или «судно-трал» и прием составления закона управления. Затем следует обратить внимание на реализацию закона управления в системе управление курсом судна. После этого необходимо ознакомиться с оценкой качества регулирования, точностью регулирования для типовых режимов эксплуатации, коэффициентом ошибок и запасом устойчивости. При этом следует обратить внимание на определение быстродействия системы регулирования по переходным характеристикам.

Ознакомиться с принципами построения адаптивных систем управления курсом судна.

Рекомендуемая литература: [8], [1], [3], [6].

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается особенности автоматического управления движением судна на заданном курсе?
2. Какими техническими средствами реализуется автоматическая стабилизация судна на заданном

курсе?

3. Запишите составляющие закона управления курсом судна и дайте толкование этим составляющим.
4. Сформулируйте принцип оптимальности, используемый в авторулевом.
5. Преимущества и недостатки автоматического управления движением судна перед «ручным» методом.

Тема. 8 Системы отображения навигационной информации

При изучении этой темы следует обратить внимание на информационно-измерительные системы в судовождении (СНА) и их связь с электронными картографическими навигационно-информационными системами. Далее необходимо обратить особое внимание на ныне существующую классификацию электронных баз данных для картографических навигационно-информационных систем и элементы технологии цифрового картографирования, а так же точность, с которой представляется навигационная картографическая информация.

После этого следует обратить внимание на структуру представления картографической информации и международные спецификационные характеристики и требования, предъявляемые к системам отображения навигационно-информационным системам. Кроме того, нужно ознакомиться с Принципами формирования картографической базы данных по маршрутам и портам захода, а так же с принципами корректуры электронных карт.

Рекомендуемая литература: [8], [7].

Вопросы для самопроверки

1. Что такое векторный стандарт электронных карт и чем он оперирует?
2. Как называется минимальный объем данных электронной карты?
3. Какова ориентация отображения электронной карты?
4. Перечислите основные требования к средствам отображения электронной карты.
5. Перечислите основные функции электронной системы отображения навигационной карты.
6. Составьте принципиальную схему системы отображения электронных карт.

Тема. 10 Современные методы навигационных измерений, обработка и хранение информации.

При самостоятельном изучении материалов следует обратить внимание на механизм прохождения сигнала через измерительную линейную систему и погрешности автоматических линейных измерительных систем при случайных воздействиях. Далее внимательно рассмотреть вопросы комплексирования измерительных систем и задачи оптимальной обработки навигационных сигналов при выделении сигнала из помех, а так же сглаживание этого полезного сигнала.

Рассмотреть общие понятия цифрового и аналогового фильтров и уяснить принципы выбора критерия или критериев оптимальности. Составить представление о фильтрации навигационных сигналов, поступающих от нескольких датчиков, и обратить внимание на методы синтеза оптимальных навигационных фильтров.

Рекомендуемая литература: [8], [3].

Вопросы для самопроверки

1. Каковы цели и задачи статистической обработки навигационной информации?
2. Что такое оптимальный фильтр навигационной информации
3. Отметить основные особенности построения рекуррентного фильтра обработки навигационной информации.
4. В чем состоит сущность принципа компенсации?
5. От чего зависит результирующая погрешность на выходе комплексной системы.

Тема 11 Информационная и математическая модель операции по безопасному расхождению судов

Рассмотреть проблемы, которые связаны с процессами предупреждения столкновения судов, обратив особое внимание на имеемые информационную и математическую формулировки

операций расхождения судов, принципы формализации этапов сближения судов, прогнозирование траекторий уклонения, выбора вида и времени маневра судна. Кроме того, необходимо изучить принципы формирования единообразной оценки ситуации сближения, выбора безопасного курса и безопасной скорости. Практически освоить автоматическое, полуавтоматическое и ручное решение задачи расхождения со встречными судами.

Рекомендуемая литература: [8], [1], [2].

Вопросы для самопроверки:

1. Назовите основные этапы операции по расхождению судов в море.
2. Объясните содержание и дайте математическое описание каждого этапа.
3. Какими параметрами определяется степень опасности ситуации?
4. Что такое время задержки маневра?
5. Зачем вести контроль радиолокационной прокладки обстановки после реализации выбранного управления?
6. Что можно отнести к первичной и к вторичной обработке радиолокационной информации?

Тема 13. Принципы автоматизации процессов: обнаружения цели, ее автоматического захвата и автоматического сопровождения

При изучении темы необходимо достаточно полно изучить механизм первичной обработке навигационной информации, которой связан с процессом перехода от аналогового сигнала к его дискретному аналогу, стробированием устойчивых целей и их классификацией на подвижные и неподвижные цели. Рассмотреть принципы формирования программным продуктом САРП процесса автосопровождения целей в режимах автоматического, полуавтоматического, ручного захвата.

Рекомендуемая литература: [8], [1], [2].

Вопросы для самопроверки

1. Почему во всех системах автоматической радиолокационной прокладки приоритетным является ручной захват?
2. Какие статистические методы применяются для решения задачи первичной обработки информации?
3. Как определить размер строба?
4. На чем основан принцип классификации целей на подвижные и неподвижные?
5. Перечислите допущения, положенные в основу процесса автосопровождения целей.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ КРАТКИЙ

Тема 1. Введение

Роль автоматизации в современном мире. Судовая автоматизация как неременное условие безопасности мореплавания. Перспективы судовой автоматизации с выходом на безэкипажные суда. Ограничения такого подхода.

Предмет и значение дисциплины. Составные части дисциплины. Общие принципы автоматизации управления. Внутренние дисциплинарные связи. Междисциплинарные связи в цикле подготовки штурмана.

Связь с технической кибернетикой как теорией автоматического управления (регулирования). Автоматизация судовождения как органическая часть общей теории управления. Приборы и устройства управления в судовой рубке. Интегрированный ходовой мостик. Перспективы дальнейшей интеграции.

Рекомендуемая литература: [1], [3].

Тема 2. Элементы теории абстрактных систем.

Определение системы рекуррентным способом. Другие определения систем. Их принципиальная

равноценность. Методы описания систем – качественные и количественные. Система и ее составные части - элементы. Структура системы. Связь элементов. Интегративные качества, присущие системе в целом, но ни одному из ее элементов в отдельности. Изучение отдельных частей системы не дает знаний о всех свойствах системы в целом. Декомпозиция систем и анализ. Синтез систем.

Модель системы. Способы представления моделей. Адекватность модели и системы с точки зрения процессов, происходящих в них. Математические модели судна и его элементов. Математическое моделирование на компьютерах.

Линейные системы как простейшие системы. Описания их с помощью дифференциальных уравнений. Типовые блоки линейных систем. Передаточные функции линейных блоков. Синтез систем из линейных блоков и законы формирования передаточных функций. Примеры корабельных систем (регулирование курса судна, авторулевой, поддержание оборотов главного двигателя и т.п.). Их структуры и функции. Важнейшие направления развития: кибернетический подход к разработке адаптивных систем управления, проектирования и принятия решений. Исходит из развития основных идей классической теории автоматического регулирования и управления и теории адаптивных систем применительно к организационным системам. Другой подход - информационно-гносеологический, основан на общности процессов отражения, познания в системах различной физической природы. Системно-структурный подход; метод ситуационного моделирования; метод имитационного динамического моделирования.

Рекомендуемая литература: [8], [3].

Вопросы для самопроверки

7. Как можно определить понятия объект и система?
8. Какими соотношениями могут быть связаны объект и его модель?
9. Что такое процесс при заданной структуре объекта?
10. Какими признаками обладает линейный процесс?
11. Сформулируйте основной признак эргодичности процесса
12. Что такое безопасная навигация и безопасность мореплавания?

Тема 3. Элементы теории информации.

Информация как основа управления. Мера информации. Получение, обработка и передача информации. Потеря информации при передаче, энтропия. Восстановление информации. Дискретизация аналоговых сигналов по времени и уровню. Восстановление с помощью теоремы и формулы Котельникова. Характеристики стохастических процессов, корреляционная функция. Процессы стационарные, эргодические.

Обмен информацией как непереносимое условие работы любой управляющей системы. Обмен как средство уменьшения неопределенности появления событий, уменьшения несогласованности в действиях, разнообразия в понятиях. Все это есть цель всякого управления.

Теория информации как наука, изучающая количественные закономерности, связанные с получением, обработкой, хранением и передачей информации. Количественное определение информации, формула Шеннона. Связь с вероятностью. Информационная мера Шеннона и теоремы идеального кодирования. Оценка степени соответствия технически различных систем для решения задач передачи сообщений. Оценка по информационным показателям: информационной производительностью и информационной пропускной способностью. Их соотношение как

идеальная мера степени соответствия реальных технических систем. Теорема Шеннона о передаче информации без искажений. Условия такой передачи, их выражение через свойства информационного потока, его кодирования и пропускной способности передающего канала.

Рекомендуемая литература: [7], [11].

Вопросы для самопроверки

7. Что такое информация?
8. Как она выражается через вероятности состояний?
9. Что такое энтропия?
10. Как определяется энтропия?
11. Сформулируйте две теоремы Шеннона
12. Сформулируйте теорему Тихонова.

Темы 4, 5. Управляемые системы и оптимальное управление.

Система и описание ее состояния с помощью переменных. Переменные входные и выходные. Понятие управляемости системы как возможность ее перехода из одного состояния в другое под действием управляющих воздействий. Объект (управляемая часть) и субъект (управляющий орган) управления как части системы. Система, управляемая по переменным. Наблюдаемость переменных. Управление в условиях неполной информации, вероятностные подходы. Различные способы управления, программное управление, управление по отклонениям, управление на основе прогнозирования, на основе компенсации возмущений. Их сравнительная эффективность.

Гибридное управление как совокупность различных способов управления. Целевая функция управления и оптимальное управление как ее минимизирующее (максимизирующее). Целевая функция как системообразующий фактор. Оценки качества управления, оценочная функция в качестве возможной целевой функции управления. Адаптация системы управления к меняющимся внешним условиям функционирования системы и к структуре самой управляемой системы. Возможное изменение целевой функции в процессе управления.

Рекомендуемая литература: [1], [2], [7], [13].

Тема 6. Теория автоматического регулирования.

Устойчивость системы автоматического управления. Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Критерии устойчивости от Вышнеградского до Гурвица. Разомкнутые и замкнутые системы. Обратная связь, отрицательная обратная связь. Способы исследования поведения управляемых систем. Переходные процессы как ответ на скачок входного воздействия. Ударные воздействия на входе системы.

Амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики системы, их получение подачей на вход систем синусоидальных сигналов. Преобразования Фурье, Хаара и вейлетное преобразование воздействий на систему как эффективные способы анализа систем. Оптимизация функционирования системы с разных точек зрения, например, по быстрдействию, минимуму энергетических затрат, минимальным отклонениям параметров и т.п. Интеллектуальные системы управления как реальность и перспективность развития управляющих принципов.

Нелинейные системы и особенности их функционирования. Автоколебания как возможные

режимы работы таких систем, борьба с нежелательными их проявлениями. Работы на кафедре в этом направлении.

Вопросы для самопроверки

7. Что такое обратная связь и какова ее роль в работе замкнутой линейной системе?
8. Какие функции выполняют отдельные элементы линейной системы?
9. Что такое передаточная функция?
10. Что следует понимать под термином «типовое звено» в теории линейных систем?
11. Как найти передаточные функции последовательного, параллельного и встречно-параллельного соединения звеньев линейных систем?
12. Какая линейная система является устойчивой?

Рекомендуемая литература: [3], [7], [13].

Темы 7,8. Система автоматического регулирования курсом судна

Системы автоматического регулирования курсом. Сложность задач управления судном, связанные как с самим объектом (судно) так и со средой функционирования (водно-воздушная среда). Математические модели функционирования, представленные широким спектром. Структурная и функциональная схема регулирования курсом. Реализация ее в виде ПИД-регулятора. Оценка качества управления, сравнительные показатели качества автоматического и ручного управления в различных условиях функционирования (морского волнения, ветра). Настройка системы регулирования курсом для оптимизации ее работы по выбранному критерию качества. Настройки системы управления параметрические и настройки структурные. Программное движение судна по заданной траектории. Принципы управления по отклонениям при движении по произвольной траектории. Исследования кафедры в этом направлении.

Вопросы для самопроверки

6. В чем заключается особенности автоматического управления движением судна на заданном курсе?
7. Какими техническими средствами реализуется автоматическая стабилизация судна на заданном курсе?
8. Запишите составляющие закона управления курсом судна и дайте толкование этим составляющим.
9. Сформулируйте принцип оптимальности, используемый в авторулевом.
10. Преимущества и недостатки автоматического управления движением судна перед «ручным» методом.

Рекомендуемая литература: [2], [9], [13].

Тема 9. Системы отображения навигационной информации

Интегрированный мостик современного судна как вершина представления любой судовой информации. Формы, точность, качество, объемы и скорость ее изменения отработаны с особой тщательностью. Все это должно способствовать такому восприятию информации, которое увеличивает безопасность судовождения и уменьшает до минимума действие человеческого фактора. Особое значение имеет интеграция информации, когда полученная из разных источников она индицируется перекрестно на разных устройствах. Принцип дуближа увеличивает вероятность правильного и своевременного восприятия информации. Методы получения информации от

разных устройств судна и внешних источников. Электронное, дисковое и бумажное хранение информации.

Электронная картография и реализующие ее системы как наиболее интегрированная и информативная часть системы интегрированного мостика.

Информационно-измерительные системы в судовождении (СНА) и их связь с электронными картографическими навигационно-информационными системами. Существующая классификация электронных баз данных для картографических навигационно-информационных систем и элементы технологии цифрового картографирования. Точность, с которой представляется навигационная картографическая информация. Структура представления картографической информации и международные спецификационные характеристики и требования, предъявляемые к системам отображения навигационно-информационным системам. Принципы формирования картографической базы данных по маршрутам и портам захода, а также принципы корректуры электронных карт.

Вопросы для самопроверки

5. Что такое векторный стандарт электронных карт и чем он оперирует?
6. Как называется минимальный объем данных электронной карты?
7. Какова ориентация отображения электронной карты?
8. Перечислите основные требования к средствам отображения электронной карты.
5. Перечислите основные функции электронной системы отображения навигационной карты.
6. Составьте принципиальную схему системы отображения электронных карт.

Рекомендуемая литература: [4], [10], [11].

Тема. 10 Современные методы навигационных измерений, обработка и хранение информации.

Прохождение сигнала через измерительную линейную систему и погрешности автоматических линейных измерительных систем при случайных воздействиях. Комплексование измерительных систем и задачи оптимальной обработки навигационных сигналов при выделении сигнала из помех, а также сглаживание самого полезного сигнала. Цифровой и аналоговый фильтры и принципы выбора критерия или критериев их оптимальности, их сравнительные характеристики. Фильтрация навигационных сигналов, поступающих от нескольких датчиков, методы синтеза оптимальных навигационных фильтров. Комплексование судовых данных счисления и СНС-обсерваций. Рекуррентные фильтры обработки навигационной информации. Фильтры Калмана. Разностные измерения кинематических параметров движения как способ повышения точности. Дифференциальные принципы получения информации (DGPS). Использование и роль вычислительной техники для обработки сигналов. Необходимые требования к скорости обработки и объему хранения информации. Рекуррентность обработки как способ снижения этих требований. Программная реализация принципов фильтрации.

Вопросы для самопроверки

3. Каковы цели и задачи статистической обработки навигационной информации?
4. Что такое оптимальный фильтр навигационной информации
3. Отметить основные особенности построения рекуррентного фильтра обработки навигационной информации.
6. В чем состоит сущность принципа компенсации?
7. От чего зависит результирующая погрешность на выходе комплексной системы.

Рекомендуемая литература: [4], [11], [18].

Тема 11, 12 Информационная и математическая модель операции по безопасному расхождению судов

Проблемы, связанные с процессами предупреждения столкновения судов. Информационная и математическая формулировки операций расхождения судов. Принципы формализации этапов сближения судов, прогнозирование траекторий уклонения, выбора вида и времени маневра судна. Принципы формирования единообразной оценки ситуации сближения, выбора безопасного курса и безопасной скорости. Автоматическое, полуавтоматическое и ручное решение задачи расхождения со встречными судами.

Наиболее существенно на вероятность столкновения судов влияет состояние видимости (ночь, туман, осадки). В условиях ограниченной видимости происходит основная часть всех столкновений, поэтому применение судовой радионавигационной аппаратуры (РНА) является обязательным для судоводителя. Анализ аварийности называет основные причины аварий: из-за: неправильной организации радиолокационной проводки и радиолокационного наблюдения; неумелого использования судовой РНА; ошибок радиолокационного опознавания; превышения скорости хода; неправильного маневрирования, то есть из-за ошибок эргатической системы управления морским судном (ЭСУМС).

Вопросы для самопроверки:

7. Назовите основные этапы операции по расхождению судов в море.
8. Объясните содержание и дайте математическое описание каждого этапа.
9. Какими параметрами определяется степень опасности ситуации?
10. Что такое время задержки маневра?
11. Зачем вести контроль радиолокационной прокладки обстановки после реализации выбранного управления?
12. Что можно отнести к первичной и к вторичной обработке радиолокационной информации?

Рекомендуемая литература: [14].

Тема 13. Принципы автоматизации процессов: обнаружения цели, ее автоматического захвата и автоматического сопровождения

Механизм первичной обработке навигационной информации, его связь с процессом перехода от аналогового сигнала к его дискретному, стробированием устойчивых целей и их классификацией на подвижные и неподвижные цели. Применение статистических методов для решения задач первичной обработки информации. Вторичная обработка и получение параметров целей, их скоростей, курсов и расстояний кратчайшего сближения. Выстраивание иерархии целей по степени их опасности и потребности в расхождении. Принципы формирования средствами САРП процесса автосопровождения целей в режимах автоматического, полуавтоматического и ручного захвата целей. Маневрирование и время задержки маневра. Контроль радиолокационной прокладки обстановки после реализации выбранного управления.

Расчетные формулы, с помощью которых вычисляются параметры целей по двум радиолокационным засечкам, по произвольному их числу (регрессия). Оценка точности определений параметров целей.

Вопросы для самопроверки

6. Почему во всех системах автоматической радиолокационной прокладки приоритетным является

ручной захват?

7. Какие статистические методы применяются для решения задачи первичной обработки информации?

8. Как определить размер строга?

9. На чем основан принцип классификации целей на подвижные и неподвижные?

Перечислите допущения, положенные в основу процесса автосопровождения целей.

Рекомендуемая литература: [14], [16], [18].

Тема 14. Эргатические системы в судовождении

Эргатические системы как системы взаимодействия человека и машины. Перспективы и проблемы эргатических систем. Морские роботы, безэкипажные суда. Физиологические и психологические проблемы в общении с машиной. Человеческий фактор как одна из главных причин аварийности на флоте. Пределы человеческого организма в условиях штурманской вахты, вероятностные характеристики отдельных ошибок операторов. Особые проблемы у оператора САРП при оценке сложных ситуаций.

Усложнение условий плавания, рост потока информации, которую штурман должен осмыслить и на ее основе быстро принять решение. Чрезмерная напряженность работы судоводителя как предпосылка для возникновения аварийных случаев. Внедрение информационных технологий как средство освобождения судоводителя от выполнения однообразных рутинных действий, снабжение его необходимой информацией в удобной и наглядной форме. Наличие в системах управления морскими судами (на ходовых мостиках судов) электронных карт, систем автоматической радиолокационной прокладки, радар-процессоров, приемоиндикаторов и судовых терминалов спутниковых систем навигации и связи, автоматических идентификационных систем, компьютерных систем для выполнения грузовых операций и многого другого. Несмотря на хорошую техническую оснащенность современных судов, судоводитель продолжает играть основную роль в правильной эксплуатации судового оборудования, обеспечивающего безопасность плавания. В существующей *эргатической* системе управления морским судном («человек + машина») именно за человеком-оператором (судоводителем) остается функция принятия конечного решения.

Рекомендуемая литература: [19].

Литература по курсу для рекомендаций по темам.

1	Автоматизация судовождения. Учебник для вузов	Родионов А.И. и др.	М.:Транспорт
2	Судовые автоматизированные системы навигации	Вагущенко Л.Л. др.	М.:Транспорт
3	Автоматизация судовождения	Якущенко А. А.	М.:Транспорт
4	Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации.	Кузьмин С.З	М.:Соврадио
5	Автоматизация промыслового судовождения.	Орлов В.А	М.: Агропромиздат
6	Математическое обеспечение автоматизации тралового и кошелькового лова	Ольховский В.Е. др.	М.:Пищепром

7	Теоретические основы автоматизации судовождения.	Филиппов Ю.М. и др.	Л.: Судостроение,
9	Техническая эксплуатация авторулевых	Мордовченко Д. Н.	М.: Транспорт
10	Электронная картография. Краткий курс лекций.	Гагарский Д.А.	СПб: ГМА им. адм. С. С Макарова
11	Теория информации и передачи сигналов.	Игнатов В.А	М.: Соврадио
12	Начала кибернетики.	Лернер А.Я	М.: Наука
13	Судовая автоматика	Прохоренков А.М. др.	М.: Колос
14	Судовые средства автоматизации предупреждения столкновений судов	Зурабов Ю.Г. и др.	М.: Транспорт
15	Основы теории управления, конспект лекций	Качала В.В.	МГТУ Мурманск
16	Наставления и руководства по эксплуатации средств автоматизации на судне в части обеспечения управления и безопасности навигации		
17	Электронные карты в морской навигации: Обзор по судостроительной технике		СПб.: ЦНИИ РУМБ
18	Интегрированные системы ходового мостика	Вагущенко Л.Л.	Одесса
19	Эргатические системы управления морским судном	Воротынцева М.Г.	Москва

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование возможных расчетно-графических работ	Кол-во часов
1.	Расчет автокорреляционной функции случайного процесса и межпроцессорной корреляционной функции двух случайных процессов.	
2.	Определение параметров подвижной цели с помощью построения на радиолокационном планшете	

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ К/Р

Выполнение К/Р №1: Расчет автокорреляционной функции случайного процесса и межпроцессорной корреляционной функции двух случайных процессов

1. Исходные данные К/Р: два случайных процесса X и Y .
2. Средние значения процессов, скользящие средние.

3. Дисперсии и СКО, их скользящие значения.
4. Связь с методом Калмана
5. Автокорреляционная функция процесса.
6. Корреляционная функция между двумя процессами.

Выполнение К/Р № 2: Определение параметров подвижной цели с помощью построения на радиолокационном планшете

- 1 Исходные данные РГР: радиолокационные засечки трех подвижных целей.
2. Построение ЛОД и ЛИД цели по двум наблюдениям на радиолокационном планшете.
3. Определение с помощью ЛОД дистанции кратчайшего сближения и времени до момента кратчайшего сближения.
4. Построение скоростного треугольника и ЛИД – линии истинного движения.
5. Определение курса и скорости встречного судна с помощью скоростного треугольника.
6. Список литературы

1. К/Р В УЧЕБНОМ ПЛАНЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Контрольные работы являются промежуточными этапами в изучении дисциплины “Автоматизация судовождения”, их выполнение служит подтверждением практического освоения теоретического материала дисциплины и умения приложить эти знания к жизненно важным задачам безопасного судовождения.

Допуск к зачету или к сдаче курсового проекта разрешается только при условии успешной защиты типа К/Р №1 или К/Р №2, соответственно.

Формулировка задания для курсового проекта

Задания для К/Р выдается индивидуально для каждого обучающегося. Они генерируются специальной программой из пакета «Рабочее место преподавателя АС», и гарантируют, тем самым, оригинальность данных каждой работы.

Выполнение К/Р №1: Расчет автокорреляционной функции случайного процесса и межпроцессорной корреляционной функции двух случайных процессов

1. Исходные данные К/Р: два случайных процесса X и Y.

Данные состоят из 1 кВ (1024 байт) наблюдений двух случайных процессов, снятых через интервал в 1 сек. Они выдаются индивидуально в виде текстового файла, в каждой строке которого приведены через пробел начения x и y. Файл просто читается в среде Excel в два столбца (или в две строки). В MatCad он читается с помощью функции READPRN(имя файла). Следует произвести обработку данных и построить ряд характеристик этих процессов и процессов, связанных с ними. Сразу необходимо сказать, что для обработки такого объема данных необходимо владеть какими-то средствами вычислений. Для этого подходят практически все средства – МатКад, МатЛаб, VB6 и даже Excel. Но простого калькулятора для этих целей недостаточно. Более того, Excel не сможет решить задачу вычисления автокорреляционной функции. Это потребовало бы большое число относительны сдвигов столбцов, и затем их перемножения. Правда, внутри каждого офисного продукта Майкрософт встроен язык программирования VBA – Visual Basic for Application. На нем можно решать любые задачи, не покидая табличного процессора.

2. Средние значения процессов, скользящие средние.

Математические ожидания процессов

$$m_x = 1/N \sum_{i=1}^N X_i, \quad (1)$$

(для процесса Y аналогично).

Эта формула применима, если процесс стационарен, т.е. когда мат.ожидание есть по процессу величина постоянная. Формулу (1) можно реализовать средствами Excel, для этого в столбце, соседнем с обрабатываемом, пишем простую функцию суммирования (СУММ) всех ячеек обрабатываемого столбца от верхней ячейки до текущей и делим на их количество. Фактически пользуемся формулами скользящего среднего. Вот формула простого скользящего среднего.

$$m_{xk} = 1/k \sum_{i=1}^k X_i, \quad k=1, \dots, N. \quad (2)$$

Если процесс не стационарен, то m_{xk} будет изменяться с изменением номера k , но в последней ячейке мы получим среднее всего отрезка нашего процесса. Такая обработка естественна, т.к. данные поступают последовательно во времени. Значит, мы находим среднее из данных, поступивших к текущему моменту времени.

Более сложная обработка такого типа использует плавающее «окно».

В этом случае среднее берется по нечетному числу временных точек (моментов) с центром в точке, для которой вычисляется среднее. Это число точек называется шириной «окна». Например, если точек в окне 7, то для k -ой точки вычисления среднего (или дисперсии) берется среднее из точек $k-3, k-2, k-1, k, k+1, k+2, k+3$:

$$m_{xk} = 1/7 \sum_{i=k-3}^{k+3} X_i \quad (3)$$

3. Дисперсии и СКО, их скользящие значения.

Дисперсию находим как среднее суммы квадратов отклонений результатов от среднего значения процесса, если процесс стационарен. Для этого случая подходит простая формула (4).

$$D_x = 1/N \sum_{i=1}^N (X_i - m_x)^2 \quad (4)$$

(для процесса Y аналогично).

Если же процесс не стационарен, то дисперсию находим как скользящее значение, используя значения скользящих средних, найденных перед этим.

$$D_{xk} = 1/k \sum_{i=1}^k (X_i - m_{xi})^2 \quad (5)$$

Если пользуемся скользящим окном с шириной 7, то вычисления ведем по формуле, подобной (3):

$$D_{xk} = 1/7 \sum_{i=k-3}^{k+3} (X_i - m_{xi})^2 \quad (6)$$

Все эти вычислительные операции можно выполнить в рамках табличного процессора, которым вы должны владеть.

Найдя дисперсии легко получить и СКО – средние квадратические отклонения

простым извлечением квадратного корня:

$CKO_x = \sqrt{D_x}$ для стационарного значения или $CKO_{x_k} = \sqrt{D_{x_k}}$ для плавающих значений.

4. Связь с методом Калмана

Предыдущая обработка средним методом Калмана, который был рассмотрен в дисциплине «МОС». Напомним вкратце о нем.

В свое время были получены формулы для среднего арифметического \bar{x} и его стандарта $\sigma_{\bar{x}}$ ряда из n равнозначных наблюдений:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{k=1}^n x_k}{n} \quad \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Эти формулы можно интерпретировать и как результат последовательной обработки наблюдений, когда параметры \bar{x} и $\sigma_{\bar{x}}$ уточняются по мере поступления следующих наблюдений. Действительно, легко проверить справедливость следующих формул:

$$\bar{x}_{n+1} = \bar{x}_n + K_{n+1} * (x_{n+1} - \bar{x}_n) \quad \sigma_{\bar{x}_{n+1}}^2 = \sigma_{\bar{x}_n}^2 * (1 - K_{n+1}) \quad (7)$$

В них весовой коэффициент K_{n+1} рассчитывается рекуррентно по формуле $K_{n+1} = K_n / (1 + K_n)$ с начальным значением $K_1 = 1$. Эти две формулы можно рассматривать как последовательность применения следующих шагов обработки:

- 1) получение прогностической оценки \bar{x}_n ;
- 2) поступление нового измерения x_{n+1} ;
- 3) определение его невязки $x_{n+1} - \bar{x}_n$;
- 4) определение нового коэффициента усиления K_{n+1} ;
- 5) умножение невязки на коэффициент усиления;
- 6) сложение полученного результата с прогностической оценкой, т.е. внесение в неё поправки.

На этом цикл обновления результата заканчивается и повторяется вновь при поступлении следующего измерения. Фактически это простейший вариант

фильтра Калмана при оценке результатов прямых последовательных измерений параметра, отягощённых случайными погрешностями. Он работает как метод коррекции прогноза, и величина коррекции пропорциональна невязке поступившего измерения.

Рассмотренный простейший вариант помогает в дальнейшем легче освоить принцип работы фильтра Калмана для линейных динамических систем, широко используемых в автоматических устройствах комплексирования навигационной информации.

Аналогично можно построить алгоритм последовательной обработки неравноточных независимых наблюдений. При этом средние оценки будут взвешенными, а в предыдущих формулах изменится только выражение для весового коэффициента

$$K_{n+1} = \frac{K_n}{(K_n + \frac{P_n}{P_{n+1}})},$$

где p_{n+1}, p_n - веса соответствующих наблюдений.

Проверьте эти формулы на ваших данных и установите их идентичность формулам (1 – 6).

5. Автокорреляционная функция процесса.

Кроме поведения процесса в среднем очень важно оценить степень статистической связи между двумя сечениями процесса. Для этого введена автокорреляционная функция процесса, которая вычисляется по такой формуле:

$$K_X(k) = 1/(N-k) \sum_{i=1}^{N-k} (X_i - m_{X_i})(X_{i+k} - m_{X_{i+k}}) \text{ при этом } k = 1, \dots, N-1, \quad (8)$$

(для процесса Y аналогично), при этом $k = 1, \dots, N-1$.

Фактически, это среднее значение произведений отклонений данных процесса в двух точках процесса, смещенных относительно друг друга на величину k . Заметим, что при $k=0$, т.е. когда смещения нет (начальная точка), мы получим

$$K_X(0) = 1/(N) \sum_{i=1}^N (X_i - m_X)^2 \text{ - обычную дисперсию. Если нормировать}$$

корреляционную функцию делением на дисперсию, то ее нормированное

значение в нулевой точке будет всегда равно 1.

6. Корреляционная функция между двумя процессами.

Часто необходимо обнаружить корреляционную связь между двумя процессами. Это делается с помощью межпроцессорной корреляционной функции, записанной в формуле (8):

$$K_{XY}(k) = 1/(N-k) \sum_{i=1}^{N-k} (X_i - m_{X_i})(Y_{i+k} - m_{Y_{i+k}}) \quad (9)$$

От формулы (8) она отличается только тем, что во второй скобке стоит значение процесса Y (а не X, как в формуле (8)).

Ранее говорилось о возможности использовать табличный процессор Excel (с которым судоводитель должен уметь работать) для вычисления средних и дисперсий процессов. Но его прямое применение для вычисления автокорреляционной функции наталкивается на сложности, о которых выше было сказано. Поэтому приходится прибегать к программированию в языке VBA, встроенном в Excel. Далее приведем два скриншота из этой среды для демонстрации такого применения. Рисунок 1 демонстрирует лист среды Excel. На нем видны колонки с данными и результатами расчетов, а также кнопка на листе «Форма 1». При ее нажатии появляется форма «Форма с кнопками». При нажатии в свою очередь кнопки «Kcorr» выполняется расчет корреляционной функции.

Выполнение К/Р № 2: Определение параметров подвижной цели с помощью построения на радиолокационном планшете

- 1 Исходные данные РГР: радиолокационные засечки трех подвижных целей подвижных целей.
2. Построение ЛОД и ЛИД цели по двум наблюдениям на РЛ-планшете.
3. Определение курса и скорости встречного судна по всем наблюдениям.
4. Определение с помощью ЛОД дистанции кратчайшего сближения и времени до момента кратчайшего сближения.
5. Построение скоростного треугольника и ЛИД – линии истинного движения.
6. Определение курса и скорости встречного судна с помощью скоростного

треугольника.

Задаются результаты наблюдения 2-х пеленгов и дистанций, полученных с помощью РЛС, для 3 судов (целей), двигающихся с постоянными скоростями и курсами, а также скорость и курс собственного судна.

Задание, ч.2:

Найти дистанции кратчайшего сближения и время до кратчайшего сближения, а также скорость хода и курс каждой цели. Оценить степени опасности каждого из судов и выстроить их в иерархическом порядке по убыванию опасности.

Изобразить перемещения судов на планшете в абсолютной или относительной системе координат.

Графическое определение элементов движущихся целей (ЭДЦ) по пеленгам и дистанциям на маневренном планшете

Сделать это можно следующим образом. Свое судно принять в центре планшета условно неподвижным (точка M), точка a – положение цели в начальный момент наблюдений. Проложить вектор своей скорости V_m из точки M (рисунок 4).. По результатам измерения пеленгов и дистанций определить скорость и курс цели по формулам. Проложить вектор скорости V цели также из точки M . Соединить концы проложенных векторов скоростей и получить вектор скорости относительного перемещения судов V_p . Из точки a начального положения цели проложить линию относительного движения – ЛОД. Опустить перпендикуляр на нее из центра планшета M с основанием в точке b . Длина этого перпендикуляра Mb равна дистанции кратчайшего сближения.

Время до момента кратчайшего сближения находим так. Измерим расстояние между точками a и b . Разделим полученное значение на относительную скорость цели V_p . В результате получим $t_{кр}$. Можно оперировать расстояниями в кабельтовых, временем в минутах, или расстояниями в милях и временем в часах.

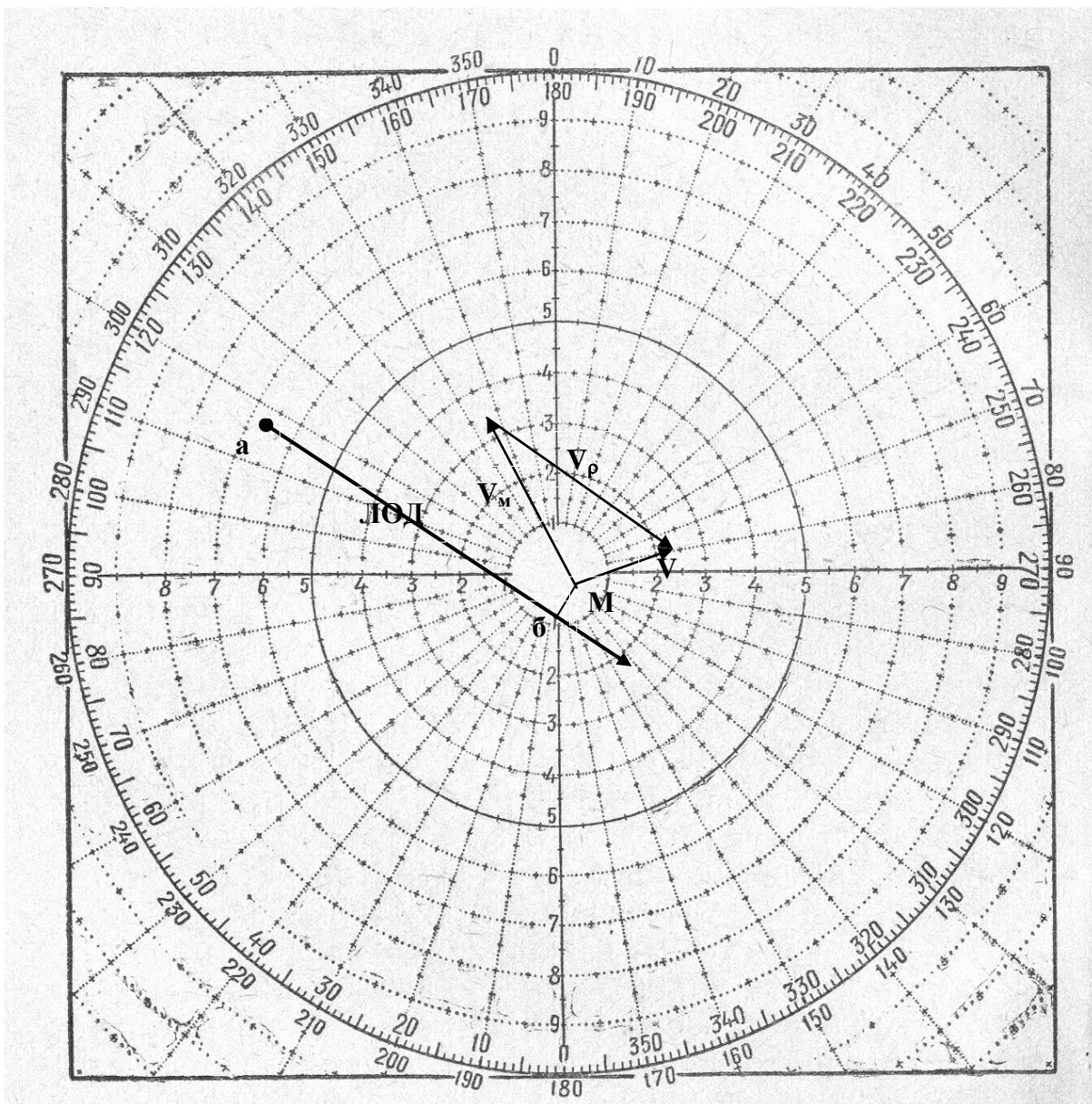


Рисунок 4. Определение ЭДЦ на маневренной планшете.

Соединить концы проложенных векторов скоростей и получить вектор скорости относительного перемещения судов V_p . Из точки **а** начального положения цели проложить линию относительного движения – ЛОД. Опустить перпендикуляр на нее из центра планшета **М** с основанием в точке **б**. Длина этого перпендикуляра **Мб** равна дистанции кратчайшего сближения.

Время до момента кратчайшего сближения находим так. Измерим расстояние между точками **а** и **б**. Разделим полученное значение на относительную скорость цели V_p . В результате получим $t_{кр}$. Можно оперировать расстояниями в кабельтовых, временем в минутах, или

расстояниями в милях и временем в часах.

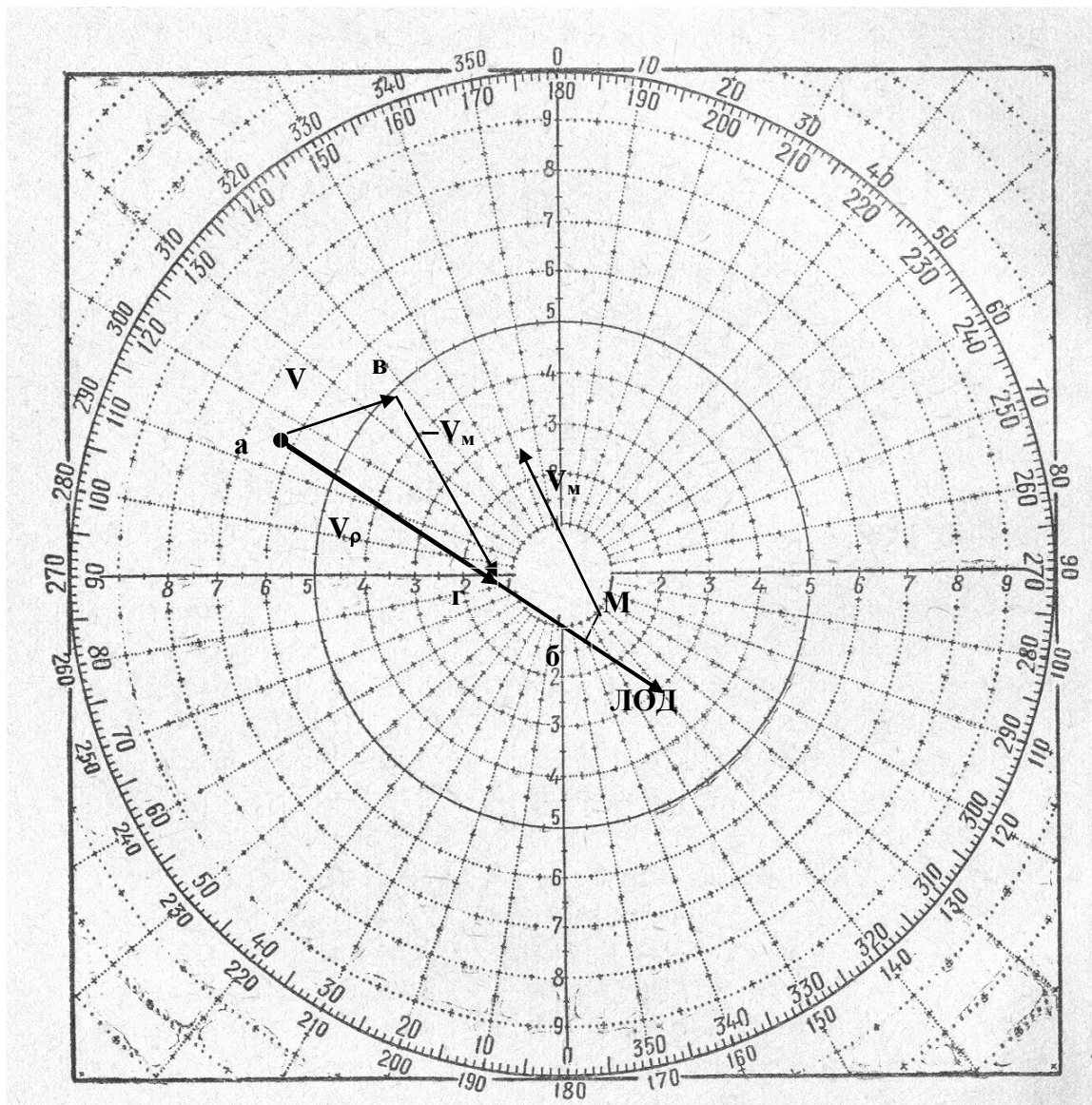


Рисунок 5. Определение ЭДЦ на маневренной планшете по двум отметкам цели а и в.

Можно определить ЭДЦ с помощью другого графического построения, используя положение на экране (планшете) двух отметок цели. В качестве таковых для большей точности результатов следует брать “крайние” измерения, т.е. в первой (а) и последней (в) точках выбранного промежутка времени (рисунок 5).

Везде, где на рисунке 5 показаны векторы скоростей цели V , собственного судна V_M и относительной скорости их перемещения V_p , можно оперировать соответствующими расстояниями, пройденными за некоторое

время между засечками Δt : $V \cdot \Delta t$, $V_m \cdot \Delta t$, $V_p \cdot \Delta t$.

Произведите все эти построения на маневренном планшете, определите параметры движения целей и сравните результаты с аналитическим расчетом.

Контрольный пример.

Измерены дистанция и пеленг цели и получены результаты:

$$T_1 = 10^{26} \quad D_1 = 7.5 \text{ м} \quad \Pi_1 = 66.5^\circ$$

$$T_2 = 10^{29} \quad D_2 = 6.0 \text{ м} \quad \Pi_2 = 61.0^\circ$$

Вычислите с помощью формул и графических построений ЭДЦ и сравните с правильными результатами:

$$V_{ц} = 28 \text{ уз} \quad K_{ц} = 288.2^\circ \quad D_{кр} = 2.64 \text{ м} \quad t_{кр} = 9 \text{ м } 54 \text{ с}$$

5.6.

Выбор порядка целей для сопровождения

Произведя расчеты одним из способов, и определив для выбранных целей кратчайшее расстояние и время до кратчайшего сближения, ставим цели на сопровождение в порядке их опасности с точки зрения судоводителя. Именно последовательность выбора целей оценивается тренажерной системой и от нее во многом зависит оценка результатов тренажа.

Опасной считается цель, для которой $D_{кр}$ меньше некоторого заданного расстояния D_3 безопасного расхождения для данных условий плавания и расходящихся судов.

Критерием безопасности служит величина дистанций расхождения D_3 . Практикой мореплавания выработаны следующие безопасные дистанции:

- для открытого моря $D_3 = 20 - 30$ каб;
- для стесненных условий плавания $D_3 = 7 - 15$ каб;
- на фарватерах не менее полуширины фарватера, двигаться вблизи его

правой кромки.

Дистанцию расхождения 20 каб целесообразно принимать тогда, когда упрежденная дистанция около 50 каб. На 30 каб можно рассчитывать маневр расхождения в тех случаях, когда обеспечивается упрежденная дистанция более 70 каб. С тем чтобы иметь больше времени для оценки ситуации и расчетов можно уменьшить ход судно или остановиться.

Среди целей с примерно одинаковыми дистанциями кратчайшего сближения также существует своя иерархия опасных целей. Более опасны в данный момент те из целей, для которых время до кратчайшего сближения меньше. Ими следует заниматься в первую очередь и решать задачу выбора и расчета маневра для безопасного расхождения.

После того как цели для сопровождения оператором выбраны, система проводит те же вычисления, выдает на индикацию по каждой выбранной цели ее курс, скорость и параметры кратчайшего сближения. При этом оператор может сравнить с ними результаты своих предварительных расчетов. Система производит иерархическую расстановку целей и сравнивает ее с иерархией, определенной и введенной оператором. Сравнение результатов системой дает оценку этапа выбора целей, и эта оценка записывается в протокол тренажа по разделу маневрирования.

Произведя вычисления скорости и курса движущихся целей по всем точкам и параметров кратчайшего сближения, их следует занести в сводную таблицу вида таблицы 1. Однако, сортировать цели следует по степени опасности. Более опасной является цель, кратчайшее расстояние с которой меньше, время до кратчайшего сближения также меньше. Именно по этому принципу следует расположить цели-суда в таблице. В этом порядке ими следует заниматься при решении проблемы маневра расхождения, если он потребуется.

Готовьтесь ответить на вопрос: что означает отрицательное значение кратчайшего расстояния, времени до кратчайшего сближения?

Таблица 1

№ судна	V по двум точкам, узлы	K по двум точкам, град.	D _{кр} , м.мили	t _{кр} , мин
1				
2				
3				

Все построения можно проверить в среде вычислений MathCad. Для этого вам дается программа, написанная для этой среды, фактически, формулы для вычисления параметров целей. Скриншоты таких вычислений показаны на рисунках 6 и 7.

Расчет параметров целей

$$\begin{aligned} K_0 &:= 338.1 & V_0 &:= 10.19 & dT &:= 10 & cc &:= 57.3 \\ P_1 &:= 351.43 & P_2 &:= 344.95 & D_1 &:= 3.369 & D_2 &:= 0.918 \end{aligned}$$

Скорость цели по двум засечкам

$$V_{\text{цв}} = \frac{\sqrt{\left[D_1 \cdot \sin\left[\frac{(P_1 - K_0)}{cc}\right] - D_2 \cdot \sin\left[\frac{(P_2 - K_0)}{cc}\right] \right]^2 + \left[D_1 \cdot \cos\left[\frac{(P_1 - K_0)}{cc}\right] - D_2 \cdot \cos\left[\frac{(P_2 - K_0)}{cc}\right] - V_0 \cdot \frac{dT}{60} \right]^2}}{\frac{dT}{60}}$$

$$V = 5.667$$

Курс цели по двум засечкам

$$\text{tagKZ} := \frac{D_1 \cdot \sin\left[\frac{(P_1 - K_0)}{cc}\right] - D_2 \cdot \sin\left[\frac{(P_2 - K_0)}{cc}\right]}{D_1 \cdot \cos\left[\frac{(P_1 - K_0)}{cc}\right] - D_2 \cdot \cos\left[\frac{(P_2 - K_0)}{cc}\right] - V_0 \cdot \frac{dT}{60}}$$

$$K_{\text{цв}} := (\text{atan}(\text{tagKZ}) \cdot cc + K_0) \quad K_s := K - K_0 - 180$$

$$K - 180 = 203.05$$

Рисунок 6. Определение скорости и курса цели по двум засечкам.

На рисунке 6 показаны формулы для скорости (V) и курса (K) цели, для которой в двух верхних строках заданы все необходимые данные – K₀, V₀, dT, P₁ и P₂, D₁ и D₂. Вы можете воспользоваться этой программой и подставить в нее ваши исходные данные. Обязательно сравните получаемые значения с теми, что вы

нашли с помощью планшета. На рисунке 7 приведена формула для времени до кратчайшего сближения T_{kr} . Само кратчайшее расстояние находится как минимум дистанции как функции времени $D_2(t)$. На графике показано изменение дистанции во времени, минимум можно определить с помощью трассировки – средства среды MathCad.

Время до кратчайшего сближения

$$T_{kr} := \frac{D1 \cdot \left[V \cdot \cos\left[\frac{(P1 - K0 - Ks)}{cc}\right] + V0 \cdot \cos\left[\frac{(P1 - K0)}{cc}\right] \right] \cdot 60}{V^2 + V0^2 + 2 \cdot V \cdot V0 \cdot \cos\left(\frac{Ks}{cc}\right)}$$

$$T_{kr} = 18.975$$

Дистанция во времени

$$D_2(t) := D1^2 - 2 \cdot D1 \cdot \left[V \cdot \cos\left[\frac{(P1 - K0 - Ks)}{cc}\right] + V0 \cdot \cos\left[\frac{(P1 - K0)}{cc}\right] \right] \cdot \frac{t}{60} + \left(V^2 + V0^2 + 2 \cdot V \cdot V0 \cdot \cos\left(\frac{Ks}{cc}\right) \right) \cdot \left(\frac{t}{60}\right)^2$$

$$D_{kr}(t) := \sqrt{D_2(t)}$$

$$D_{kr}(T_{kr}) = 2.434$$

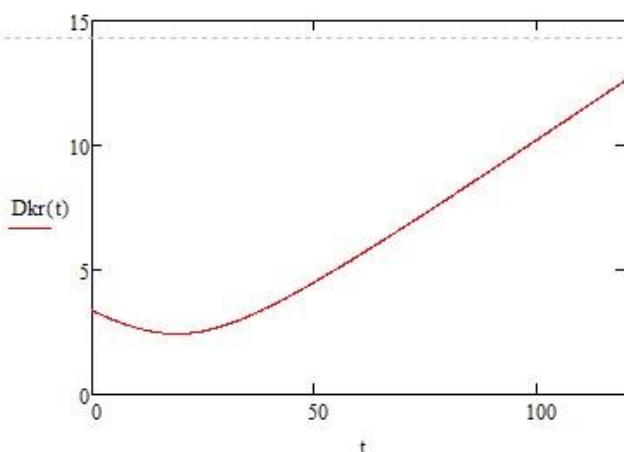


Рисунок 7. Определение дистанции и времени до кратчайшего сближения.