

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Судовождение и безопасность судоходства»

АВТОМАТИЗАЦИЯ СУДОВОЖДЕНИЯ

Методические указания
к практическим занятиям по дисциплине
«Автоматизация судовождения»

Севастополь
СевГУ
2026

УДК [656.61.052:681.5](076.5)

ББК 39.475-5*я73

A22

Р е ц е н з е н т ы:

В.В. Михайлов – капитан дальнего плавания судоходной компании

“ Laskaridis Shipping Co.Ltd., Греция», доцент кафедры СБС

В.А Галий – доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры СБС

Составитель: Л.В. Аркин

A22 Автоматизация судовождения : методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Автоматизация судовождения» / Севастопольский государственный университет, Морской институт, кафедра «Судовождение и безопасность судоходства» ; сост. Л. В. Аркин. – Севастополь : СевГУ, 2026. – 68 с. – Текст : электронный.

Целью методических указаний является оказание студентам необходимой методической помощи при подготовке практическим занятиям по дисциплине «Автоматизация судовождения», приобретение компетенций необходимых для профессионально грамотной эксплуатации судовых автоматических и автоматизированных систем, в том числе интегрированных систем навигационного мостика и систем управления движением судна.

УДК [656.61.052:681.5](076.5)

ББК 39.475-5*я73

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании кафедры «Судовождение и безопасность судоходства», протокол № 6 от 15 апреля 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Практическое занятие № 1.</i> Устройство современного интегрированного навигационного мостика. Изучение возможностей интегрированной системы, демонстрация функционала. Принцип комплексирования навигационных систем между собой	4
<i>Практическое занятие № 2.</i> Изучение функционала коннинг-дисплеев и многофункциональных рабочих станций интегрированного навигационного мостика. Автоматическое управление тревожными сообщениями	17
<i>Практическое занятие № 3.</i> Изучение систем автоматического регулирования, применяемых на судах. Разбор принципа действия и структурных схем для следующих систем: автоматического регулирования курса судна; автоматического регулирования крена судна; автоматического регулирования температуры в рефрижераторной камере; автоматического удержания судна на позиции	26
<i>Практическое занятие № 4.</i> Настройка ПИД-регулятора авторулевого. Управление судном на курсе в автоматическом режиме при различных настройках авторулевого	34
<i>Практическое занятие № 5.</i> Взаимодействие системы автоматического управления движением судна с системами ЭКНИС и ГНСС. Использование различных режимов автоматического управления движением судна по траектории	47
<i>Практическое занятие № 6.</i> Изучение алгоритма автоматического поиска и выбора оптимального маршрута перехода. Разбор алгоритма автоматического поиска и выбора оптимального маршрута перехода, основанного на методе динамического программирования	54

Практическое занятие № 1

УСТРОЙСТВО СОВРЕМЕННОГО ИНТЕГРИРОВАННОГО НАВИГАЦИОННОГО МОСТИКА. ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ, ДЕМОНСТРАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛА. ПРИНЦИП КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ МЕЖДУ СОБОЙ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Формируемые компетенции

Категория компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Естественно-научная и общетехническая инженерная области	ОПК-5. Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, обеспечивая выполнение требований информационной безопасности	ОПК-5.1. Знает основные информационные технологии и программные средства, которые применяются при решении задач профессиональной деятельности; ОПК-5.2. Умеет формулировать требования к программному обеспечению, необходимому пользователю; выполнять действия по загрузке изучаемых систем; применять полученные навыки работы с изучаемыми системами в работе с другими программами; применять основные информационные технологии и программные средства, которые используются при решении задач профессиональной деятельности; ОПК-5.3. Владеет навыками применения основных информационных технологий и программных средств, которые используются при решении задач профессиональной деятельности.
Профессиональная компетенция	ПК-5. Способен обеспечить безопасное плавание судна путем использования информации от навигационного оборудования и систем, облегчающих процесс принятия решений	ПК-5.3. Знает взаимосвязь и оптимальное использование всех навигационных данных, имеющихся для осуществления плавания.

Объем: 2 академических часа.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Автоматизация современного морского судна» – 10 мин.
2. Изучение состава навигационного мостика и его функционала – 0 мин.
3. Демонстрация функционала навигационного мостика при выполнении перехода судна – 20 мин.

4. Самостоятельная работа студентов – использование функционала навигационного мостика на переходе морем – 30 мин.
5. Подведение итогов занятия – 10 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Плакат “Modern Navigation Bridge” (рисунок 1.1).
2. Полномасштабный навигационный тренажер “Navi Trainer Pro 5000” или аналогичный (рисунок 1.2)
3. Мультимедиа проектор.
4. Пластиковая или смарт-доска.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Современные навигационные мостики выполняются, как правило, по технологии интегрированного мостика IBS (Integrated Bridge System). IBS представляет собой автоматизированный программно-аппаратный комплекс, выполняющий функции:

- сбора, обработки и отображения информации (за это отвечают многофункциональные рабочие станции/дисплеи – MF displays);
- выполнение функций навигации (навигационная информационная система с электронными картами – ECDIS);
- предотвращение столкновений судов (радар и система автоматической радиолокационной прокладки САРП);
- управление судном (коннинг-дисплей, авторулевой, консоль маневрирования, консоли на крыльях мостика и другие органы);
- радиосвязь (интегрированная система радиосвязи, в том числе система глобальной морской связи при бедствии GMDSS);
- и обеспечение безопасности (остальные системы).

Современный навигационный мостик должен обеспечивать максимальную эффективность несения навигационной вахты квалифицированным персоналом. Его функционал позволяет:

- автоматизировать выполнение комплексных задач судовождения;
- создать единую информационную среду для эффективной поддержки решений вахтенного помощника (decision support);
- организовать централизованный контроль работы оборудования, от которого зависит безопасность судна и груза;
- обеспечить централизованное управление силовыми средствами и другим оборудованием судна.

Modern Navigating Bridge

1. Fire Detection Panel
2. GPS
3. AIS
4. Speed Log Display
5. Chart Table
6. Multifunctional Display
7. GMDSS Console
8. Rudder Angle Indicator
9. ECDIS
10. RoT-indicator, Echo-sounder, Clinometer, Anemometer
11. S-Band Radar Display
12. Conning Display
13. Main Engine Controls
14. X-Band Radar Display
15. Alarm Panel
16. Lights Panel
17. Smoke Detector
18. Sensor Panel
19. Magnetic Compass Periscope
20. Search and Rescue Transponder
21. Bridge Wing Bearing Repeater
22. Steering Stand with Gyrocompass
23. Autopilot and Steering Controls

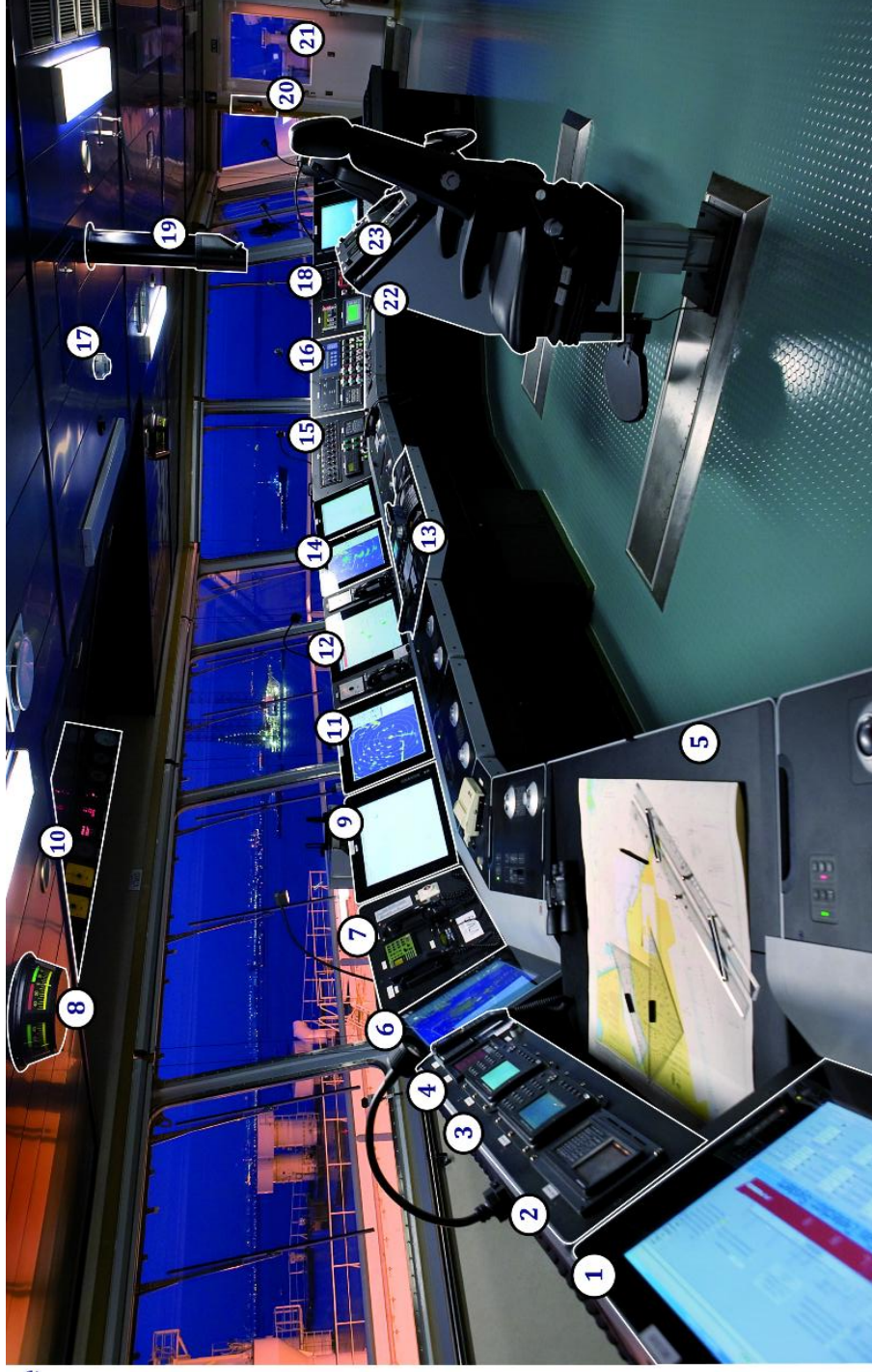


Рисунок 1.1 - Плакат “Modern Navigation Bridge”



Рисунок 1.2 – Навигационный тренажер

Типовой состав современного мостика

Выпускаемые разными фирмами навигационные мостики, несмотря на общую концепцию, имеют определенные отличия по составу, выполняемым функциям, дизайну. Типовой интегрированный мостик включает в себя:

- центральную консоль мостика, как правило, с двумя рабочими местами, в которую монтируется мостиковая аппаратура, дисплеи, индикаторы, органы управления (рисунок 1.3). Консоли выполняются под конкретное судно, преследуя критерии эргономичности и единообразия;

- дисплеи и индикаторы основных навигационных датчиков (Navigation Sensors), таких как приемник ГНСС Спутниковая ГНСС-антенна для приёма сигнала со спутника, гирокомпас, магнитный компас, лаг, эхолот, аксиометр, датчик угловой скорости поворота, датчики состояния СЭУ, гребного винта и иных механизмов и др.);

Системы GPS и Глонасс составляют основу существующей Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), Global Navigation Satellite System (GNSS). ГНСС является спутниковой системой для многоцелевого использования для определения местоположения, времени и скорости по всему миру. ... Однако в данном методе необходимо при обсервации на судне использовать те же спутники, что и на опорной станции. ... На судне должен быть установлен приемник дифференциальных поправок и приемник GPS с входом дифференциальных поправок. ... Сюда будет стекаться

- центральный информационный дисплей мостика (коннинг-дисплей – Conning Information Display – CID);

Монитор СУД служит для отображения входных и выходных параметров систем управления судном и называется коннинг дисплеем (Conning Display). Это название происходит от английского слова con, которое означает – вести судно. Коннинг дисплей представляет судоводителю заданные и текущие зна-

чения управляемых величин, основные элементы движения судна, параметры действующих на судно возмущений. 2001/05/27 UTS : 03:30 SST : 18:30. DGPS.

Коннинг дисплей.

Монитор СУД служит для отображения входных и выходных параметров систем управления судном и называется **коннинг дисплеем** (Conning Display). Это название происходит от английского слова **con**, которое означает – *вести судно*.

Коннинг дисплей представляет судоводителю заданные и текущие значения управляемых величин, основные элементы движения судна, параметры действующих на судно возмущений.

Изображения данных на дисплее для вождения судна отличаются друг от друга. Для примера на рис. 6.5 представлена одна из форм отображения информации для процессов швартовки.

Форма отображения данных для швартовки содержит:

- Дату и время;
- Координаты и их датум;
- Курс и путевой угол; HDG /COG /SOG 006 set - угол сноса
- Лаговую и путевую скорость; RA рад цир
- Скорость поворота; ROT - угловая скорость поворота судна
- Параметры истинного и кажущегося ветра;
- Глубину под килем;
- Боковые скорости носа и кормы;
- Задаваемое и действительное положение руля; Rudder angle
- Режимы работы ГДУ и подруливающих устройств;
- Частоту вращения ВРШ, RPM
- Угол лопастей ВРШ. Pitch

Форма отображения данных для перехода не включает скорость носа, кормы, а также схему режимов работы подруливающих устройств и главного двигателя. Вместо этой схемы представляются данные, характеризующие плавание по маршруту:

Название маршрута,	Пеленг,	дистанция
Номер точки предстоящего поворота,	• точки поворота,	
поворота,	• Время следования до точки	
• Боковое отклонение от линии	поворота и прихода в нее,	
пути,	Курс нового отрезка	
	• пути.	

– навигационно-информационную систему ECDIS на отдельном дисплее (или двух дисплеях);

– систему для предупреждения столкновений в составе одного или двух радаров с функциями САРП

Обработка радиолокационной информации (РЛИ) включает определенную последовательность действий:

- наблюдение и обнаружение целей;
- глазомерную оценку опасности радиолокационной ситуации сближения и отбор целей для радиолокационной прокладки;
- радиолокационную прокладку – определение элементов движения цели и параметров ситуации сближения;
- расчет маневра расхождения;
- контроль за изменением радиолокационной ситуации во время маневра до полного расхождения судов.
- радиолокационную прокладку на маневренном планшете.

Относительная прокладка – выполняется на маневренном планшете путем построения векторного треугольника скоростей. С использованием относительной прокладки легко можно определить элементы движения цели и параметры ситуации сближения. Поэтому она является основным методом, используемым на практике.

Главное, что интересует судоводителя при обнаружении объекта на экране радиолокатора – насколько опасна наблюдаемая цель. Степень опасности оценивается по двум критериям:

Дкр – дистанция кратчайшего сближения – минимальное расстояние, на которое цель может приблизиться к нашему судну, если никто не будет изменять элементы своего движения (курс и скорость);

ткр – интервал времени до точки кратчайшего сближения – интервал времени от момента получения последней точки цели, на основании которой строится линия относительного движения ЛОД, до момента приближения цели на кратчайшее расстояние к нашему судну.

Чем меньше Дкр, тем более опасной является приближающаяся цель. Но нельзя оценивать степень опасности только по дистанции кратчайшего сближения.

Не менее важными факторами являются скорость сближения и запас времени, которым располагает судоводитель, чтобы предпринять маневр и разойтись на безопасном расстоянии. Так, ситуация обгона, как правило, менее опасна чем расхождение на встречных курсах, даже если Дкр в первом случае меньше, чем во втором.

В районах интенсивного судоходства ручная прокладка на маневренном планшете отвлекает от наблюдения и может выполняться только при усилении ходовой навигационной вахты (на отдельных дисплеях) и автоматической идентификационной системы (АИС – AIS).

Автоматическая идентификационная система судна

Еще одним новым техническим средством обеспечения навигационной безопасности становятся «автоматические идентификационные системы» – «АИС» («Automatic Identification System» – «AIS»).

В соответствии с графиком, установленным в Правиле V/19 «СОЛАС- 74».

График внедрения «АИС» охватывает период с 1 июля 2002 года по 1 июля 2008 года (в зависимости от категории судна и даты его постройки). На су-

дах, перечисленных выше категорий, построенных после 1 июля 2002 года, «АИС» должны быть установлены при постройке судна.

Автоматическая идентификационная система должна:

- автоматически предоставлять (соответствующим образом оборудованным) береговым станциям, другим морским и воздушным судам информацию, включающую идентификацию судна, его тип, координаты, курс, скорость, эксплуатационное состояние судна и другую информацию, связанную с безопасностью;
- автоматически принимать такую информацию от подобным образом оборудованных судов;
- вести автоматическое сопровождение наблюдаемых судов;
- обмениваться данными с береговой аппаратурой.

При этом в Правиле V/19 «СОЛАС-74» оговаривается, что данные требования не применяются в случаях, когда международными соглашениями, правилами или стандартами предусматривается скрытность навигационной информации.

С технической точки зрения, «АИС» – это полностью автоматическая система, которая работает на определенных частотах УКВ-диапазона. Следовательно, дальность действия «АИС» – примерно такая же, что и дальность приема сигналов любого УКВ-передатчика с аналогичной высотой антенны.

Работа «AIS» зависит от сигналов транспондеров, постоянно передающих информацию, идентифицирующую судно. Вероятнее всего, «идентификационной карточкой» судна будет передача его номера по системе «MMSI» («Maritime Mobile Service Identity number»).

MMSI-представляет собой серию из 9 цифр уникальная идентификация судовой станции морской подвижной

Maritime Mobile Service Identity number

Источник: www.shipspotting.com

Вырабатываемая «АИС» информация может быть подразделена на три достаточно общих категории:

- статическая информация;
- динамическая информация;
- информация, относящаяся к конкретному рейсу судна («рейсовая информация»).

Передаваемая «АИС» статическая информация включает такие данные, как:

- судовой идентификационный номер ИМО; идентификатор судна он был введен
- ИМО в 1987 году для предотвращения загрязнения окружающей среды и морского мошенничества.
- позывной сигнал и название судна;
- главные размерения (длину и ширину) судна;
- тип судна;
- расположение на судне антенны аппаратуры местоопределения (на корме или на носу, справа или слева от диаметральной плоскости судна).

Это информация постоянного характера, которая практически не изменяется.

Передаваемая «АИС» динамическая информация включает текущие данные, характеризующие местоположение и движение судна, включая:

- текущие координаты судна (с индикацией их точности и статуса);
- универсальное координированное время (UTC);
- курс и скорость судна относительно грунта (т. е. путевой угол и путевая скорость судна);
- гирокомпасный курс судна;
- другую информацию динамического характера (как, например, угловую скорость поворота судна в процессе маневрирования, углы бортовой и килевой качки).

Информация, относящаяся к конкретному рейсу судна, может включать такие данные, как:

- осадку судна;
- тип груза;
- порт назначения и расчетное время прибытия – «ETA» (по расчетам капитана);
- план перехода (включая маршрутные точки);
- короткие сообщения, относящиеся к безопасности.

Рекомендации по эксплуатационным требованиям к универсальной судовой системе автоматического опознавания (автоматической идентификационной системе) определены в Резолюции MSC.74(69), Приложение 3.

Вследствие постоянного изменения ряда передаваемых параметров, в стандартах предусмотрены требования относительно частоты обновления информации. Динамическая информация обновляется и передается каждые несколько секунд. Статическая информация и рейсовая информация могут автоматически передаваться, например, каждые шесть минут и по запросу.

Предлагается к прочтению: Электронные средства местоопределения.

Чтобы обеспечить высокоточную «привязку» передаваемых данных по времени, а также синхронизировать многопозиционные передачи от различных объектов в одном узком частотном канале, оборудование «АИС» имеет собственную систему синхронизации с многостанционным доступом («Self-organising Time-Division Multiple Access system» – «STDMA»), которая, в свою очередь, синхронизируется по сигналам точного времени СРНС «NAVSTAR/GPS». Система синхронизации «STDMA» является ключевым элементом любой «АИС», и даже судовые транспондеры «АИС» часто называют «STDMA Transponders».

STDMA

Self-organising Time-Division Multiple Access system

Источник: www.shipspotting.com

Чтобы обеспечить высокоточную навигационную привязку передаваемой информации, судовая аппаратура «АИС» комплектуется с судовым АПИ СРНС «NAVSTAR/GPS». В зависимости от режима работы, это обеспечивает точность передаваемых координат порядка десятков метров («стандартная» GPS)

либо порядка метров («дифференциальная» GPS); точность путевого угла – порядка 0,5 - 1,0°; точность путевой скорости судна – порядка 0,2-0,5 узла.

Внедрение автоматических идентификационных систем позволяет решать следующие основные задачи:

- автоматический обмен информацией между судами в интересах предупреждения столкновений и обеспечения навигационной безопасности («Autonomous Ship-to-Ship Reporting»);
- автоматическую передачу маршрутных сообщений с судна на береговые контрольные станции («Automatic Ship-to-Shore Position Reporting»);
- контроль (со стороны береговых контрольных станций) за действиями любого конкретного судна и за судоходством в районе в целом («Coastal Surveillance»), используя ту информацию, которой суда обмениваются между собой в автоматическом режиме;
- объединение информации «АИС» различных судов в рамках, действующих «Систем управления движением судов» («СУДС»), включая оперативный автоматический ввод информации о всех целях в обслуживаемом районе в компьютер «СУДС», вывод целей на экран, прикрепление к ним «информационных меток», и т. д.

Система может быть также удобной для лоцманов, т. к. она позволяет передавать информацию на портативный компьютер («laptop») лоцмана, который загружен «электронной картой» с навигационной обстановкой; это позволяет лоцману эффективно контролировать ситуацию и движение судов в районе, не полагаясь на технические средства судна.

Автоматический обмен информацией – между судами в реальном масштабе времени является главной задачей «АИС». Каждое судно с помощью трансмиттера «АИС» постоянно сообщает свои данные всем другим (оборудованным «АИС») судам, находящимся в зоне уверенного радиообмена в УКВ-диапазоне.

Принятые на каждом судне, эти данные декодируются и индицируются на приемнике «АИС» в графическом и текстовом формате – от всех судов, находящихся в поле УКВ-обзора. Эта информация может также передаваться на судовые САРП, навигационные автоматизированные комплексы (НАК), индикатор «электронных карт», а также – в регистратор данных о рейсе («Voyage Data Recorder» – «VDR») для последующего разбора.

Сухогрузное судно

Контейнеровоз Ever Right

Источник: www.shipspotting.com

Следовательно, «АИС» может стать важным дополнением к существующим техническим средствам судовождения, т. к. данные, полученные через «АИС», повысят качество информации в распоряжении вахтенного ПКМ и улучшат его осведомленность о текущей ситуации. Когда «АИС» используется совместно с соответствующим графическим дисплеем, она будет обеспечивать автоматическое получение своевременной и точной информации о наличии опасности столкновения, вычисляя дистанцию кратчайшего сближения. Тем самым «АИС» может существенно дополнять информацию от судовой РЛС и САРП, компенсируя такие их ограничения, как запаздывание и низкую точность (особенно – в условиях маневрирования целей).

Немаловажен и другой момент: становится возможным получать информацию о судне автоматическим способом «сторонними» потребителями – другими судами, береговыми постами, операторами «СУДС». Другими словами, подача информации с судна (и обмен информацией) уже не будут зависеть от готовности к сотрудничеству судового экипажа, от одобрения капитана судна, от языковых проблем, и т.п.

- станцию управления движением судна (маневровую консоль – Maneuvering Control Station);
- централизованную систему мониторинга и сигнализации (Centralized Monitoring and Alarm Management System – AMS);
- систему дистанционного управления огнями и звуковыми сигналами (Lights Control and Sound Signals Control);
- интегрированную систему радиосвязи (Integrated Radio Communication System);

СР предназначена для обеспечения внешней и внутрисудовой связи: •при бедствии, поиске, спасении; •для целей судовождения ... Пульт управления внешней связью одной из интегрированных систем ходового мостика представлен на рис. 11.1. УКВ радиостанция обеспечивает радиотелефонную связь и цифровой избирательный вызов (ЦИВ) на расстояниях 20-30 морских миль. Эксплуатационные требования к судовым УКВ станциям радиотелефонной связи и ЦИВ, приведены в резолюции ИМО А.609(15).

«судно–судно» (будет эффективным на расстоянии не более 100 миль); «берег–судно» (либо через спутниковую систему связи INMARSAT, либо через традиционные средства связи на выделенных для этих целей частотах). При получении ретранслированного аварийного оповещения суда в районе аварии должны установить связь с СКЦ для получения указаний по непосредственному участию в поисково-спасательной операции.

«регистратор данных рейса» (Voyage Data Recorder – VDR);

Регистратор данных рейса (VDR), народное название – черный ящик, используется для записи всех видов навигационной информации. Записанные данные используются для анализа причин крупных и мелких инцидентов, произошедших в течение рейса судна. Подобно черным ящикам, используемым в самолетах, морские РДР (Регистраторы данных рейса) позволяют исследователям аварии составить полную картину, предшествующую инциденту и помогают определить причину любой аварии.

– консоли управления движением с крыльев мостика (Bridge Wing Console).

– опциональные системы: системы оценки и оптимизации мореходности – COM (Vessel Seaworthiness Assessment and Optimization System);

Системы для оценки и оптимизации мореходности.

Существующие системы для оценки, прогнозирования и оптимизации мореходности в определенной степени отличаются друг от друга составом оборудования, перечнем решаемых задач, информационными ресурсами. Типовая СОМ выполняет следующие функции: - Постоянно измеряет параметры качки (вертикальное, боковое ускорения, углы бортовой и килевой качки, погружение носа и др.), силы сжатия/растяжения от общего продольного из:

систему планирования и оптимизации пути – СПП (Voyage Planning and Route Optimization System);

систему приема звуковых сигналов – СПЗ (Sound Signal Reception System – SSRS) – для судов с закрытым мостиком;

систему видеонаблюдения с возможностью ночного видения (Closed Circuit Television with Night vision system);

другую аппаратуру по требованию и/или желанию судовладельца.

automatic monitoring system - автоматическая система контроля;

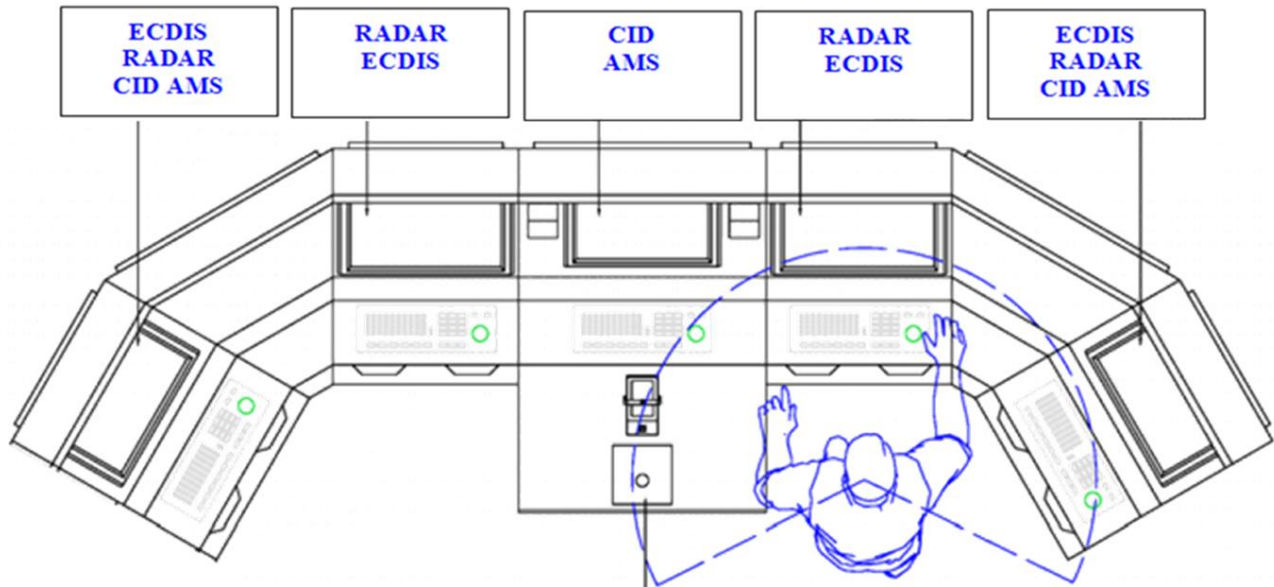


Рисунок 1.3 – Эргономичный дизайн центральной консоли мостика

Современные интегрированные мостики отвечают требованиям к управлению судном одним человеком (One man bridge operations – OMBO). Обычно у них один пульт управления с двумя рабочими местами.

Визуализация на мостике осуществляется обычно с помощью multifunctionальных рабочих станций/дисплеев (MultiFunctional Workstations/Displays). В основе МФРТ находится обычный персональный компьютер со специализированным программным обеспечением. Дисплеи МФРТ вмонтированы в консоль мостика.

Особенности использования IBS

– IBS – средство помощи капитану и штурманскому составу в решении задач судовождения. IBS не освобождает судоводительский персонал от необходимости принятия решений по управлению судном, обеспечению его безопасности, чистоты окружающей среды, а также от ответственности за эти решения. Судоводители должны уметь эффективно использовать IBS, знать ограничения и недостатки этих средств, использовать малейшую возможность для контроля их работы и правильности получаемой от них информации.

– Отказ одной части IBS не должен затрагивать функциональность других ее компонентов, за исключением тех функций, которые прямым образом зависят от информации, поступающей от неисправной части.

– Аппаратура в составе IBS совместима между собой и соответствует международным требованиям к морским интерфейсам (протокол МЭК 61162 или NMEA 0183).

– В IBS обеспечивается принцип “Redundancy” (или даже “Triple Redundancy”), т.е. дублирование средств для выполнения важных функций, а также предусмотрены альтернативные источники важнейшей информации.

– IBS указывает на потерю любого информационного датчика или отказа любой входящей в состав IBS системы. Например, с помощью тревожного сообщения “Gyro 1 Failure”, “Steering Failure” и т.д.

Одна из основных задач IBS – минимизация человеческого фактора при управлении судном. Для этого:

– IBS выполняется единообразной для всех функций (в т.ч. все меню, тревожные сообщения и др.), наглядной (подсветка функциональных/активных областей, неисправностей и т.д.), эргономичной, обеспечивает представление минимально необходимой для безопасной эксплуатации судна информации (остальная находится под рукой по вызову).

– IBS, как правило, запрашивает подтверждение оператора для действий, которые могут вызвать внештатные результаты (например, опасное сближение с препятствием/берегом; отключение какой-либо системы и др.).

3. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ

1. Проверка остаточных знаний в виде устного опроса по пройденной теме «Автоматизация современного морского судна».

2. По электронной презентации и плакату обучающиеся знакомятся с основными элементами навигационного мостика судна и их предназначением. Термины указываются преподавателем на русском и английском языках.

3. Демонстрация преподавателем основных элементов интегрированного мостика на навигационном тренажере “Full Mission NT Pro” для судна-модели без движения.

4. Демонстрация преподавателем функционала интегрированного мостика на навигационном тренажере “Full Mission NT Pro” для судна-модели во время движения и маневрирования.

Самостоятельная работа студентов в микрогруппах по 3–4 чел.

5. Использование функционала навигационного мостика при выполнении перехода (маршрут задается преподавателем). Рекомендуется использовать быстроходное судно и прибрежный район плавания. Главная задача обучающегося – усвоить предназначение приборов на центральной консоли мостика и адекватно воспринимать предоставляемую ими информацию. Преподаватель во время выполнения упражнения периодически контролирует работу студентов, задавая вопросы по предназначению того или иного прибора и показаниям, которые они предоставляют.

6. Подведение итогов занятия. При этом следует отметить основные сложности, возникшие при использовании элементов навигационного мостика во время выполнения упражнения.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные элементы современного навигационного мостика.
2. Какую функцию выполняют multifunctional рабочие станции?
3. Приведите примеры навигационных датчиков.
4. Какие системы являются неотъемлемой частью интегрированной системы навигационного мостика?
5. В каком месте консоли мостика обычно устанавливается коннинг-дисплей?
6. Как обычно расположен дисплей системы ECDIS относительно коннинг-дисплея?
7. Сколько рабочих мест обычно предусматривается в типовом интегрированном мостике?
8. В чем отличие интегрированного мостика от обычного?
9. Расшифруйте аббревиатуры: ECDIS, ARPA, RoT, CID, AMS, IBS, MFD, OMBO, VDR, AIS, CCTV.
10. Поясните термин "Redundancy" применительно к судовым системам.
11. Приведите примеры информационной совместимости навигационной аппаратуры. По какому протоколу осуществляется информационное взаимодействие аппаратуры между собой?
12. Как называется технический документ, определяющий процедуры и правила взаимодействия навигационных устройств между собой?
13. Какая международная организация определяет технические стандарты и протоколы к электронному оборудованию?
14. Какой международный протокол определяет стандарты взаимодействия навигационной аппаратуры между собой?
15. Поясните суть требования ИМО к эргономичному дизайну навигационного мостика.

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Чапчай П. А. Электронавигационные приборы: учебное пособие / П. А. Чапчай. – 2-е изд. – Одесса : ОНМА, 2012. – 161с.
2. Каретников В. В. Технические средства судовождения : учебник / В. В. Каретников. – СПб. : СПбГПУ, 2013. – 316 с.

Практическое занятие № 2
ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛА КОННИНГ-ДИСПЛЕЕВ
И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РАБОЧИХ СТАНЦИЙ
ИНТЕГРИРОВАННОГО НАВИГАЦИОННОГО МОСТИКА.
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ТРЕВОЖНЫМИ СООБЩЕНИЯМИ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Формируемые компетенции

Категория компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Естественно-научная и общетехническая инженерная области	ОПК-5. Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, обеспечивая выполнение требований информационной безопасности	ОПК-5.1. Знает основные информационные технологии и программные средства, которые применяются при решении задач профессиональной деятельности; ОПК-5.2. Умеет формулировать требования к программному обеспечению, необходимому пользователю; выполнять действия по загрузке изучаемых систем; применять полученные навыки работы с изучаемыми системами в работе с другими программами; применять основные информационные технологии и программные средства, которые используются при решении задач профессиональной деятельности; ОПК-5.3. Владеет навыками применения основных информационных технологий и программных средств, которые используются при решении задач профессиональной деятельности.
Профессиональная компетенция	ПК-5. Способен обеспечить безопасное плавание судна путем использования информации от навигационного оборудования и систем, облегчающих процесс принятия решений	ПК-5.2. Умеет оценивать навигационную информацию, получаемую из всех источников, включая радиолокатор и САРП, с целью принятия решений и выполнения команд для избежания столкновения и для управления безопасным плаванием судна; ПК-5.3. Знает взаимосвязь и оптимальное использование всех навигационных данных, имеющихся для осуществления плавания.

Объем: 2 академических часа.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «Устройство навигационного мостика судна» – 10 мин.
2. Знакомство с функционалом коннинг-дисплея “Furuno Bridge Information system” – 20 мин.
3. Краткий обзор коннинг-дисплеев других производителей – 20 мин.

4. Изучение возможностей и функционала коннинг-дисплея навигационного тренажера типа NT Pro 5000 – 30 мин.
5. Подведение итогов занятия – 10 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Электронная презентация “Integrated Bridge Systems” с изображениями страниц коннинг-дисплеев.
2. Полномасштабный навигационный тренажер типа “Navi Trainer Pro 5000” или аналогичный (см. рисунок 1.2)
3. Мультимедиа проектор.
4. Пластиковая или смарт-доска.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Визуализация в современных IBS мостиках осуществляется, как правило, с помощью многофункциональных рабочих станций/дисплеев (МФРТ – см. рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Представление информации на мостике с помощью многофункциональных рабочих станций

В основе МФРТ находится обычный персональный компьютер со специализированным программным обеспечением. Дисплеи МФРТ вмонтированы в центральную консоль мостика. МФРТ отображают данные в виде изображения:

- коннинг-дисплея;
- радара;
- НИС;
- радара+электронных карт;

– других систем (видеонаблюдения; контроля мореходности; погодной информации и т.д.).

Коннинг-дисплей (КД) представляет собой компьютерную программу, отображающую в удобном виде на экране МФРТ актуальную информацию о состоянии судна. КД – центральный информационный дисплей в системе IBS. На КД поступает информация от основных приборов и систем судна.

На различных этапах для судоводителя требуется разная информация, а потому КД имеет несколько режимов ее отображения. Наиболее характерные:

- навигационный режим – NAV (во время перехода морем);
- швартовный режим – Docking/Berthing;
- информация с основных датчиков и тревожные сообщения – Main Sensors and alarms;
- режим регистрации данных (Recorder) и др.

КД позволяет с помощью программного интерфейса осуществлять непосредственное управление судном и его системами.

Примеры страниц КД “Bridge Information System” в исполнении японской компании “Furuno” представлены на рисунках 2.2 – 2.5.

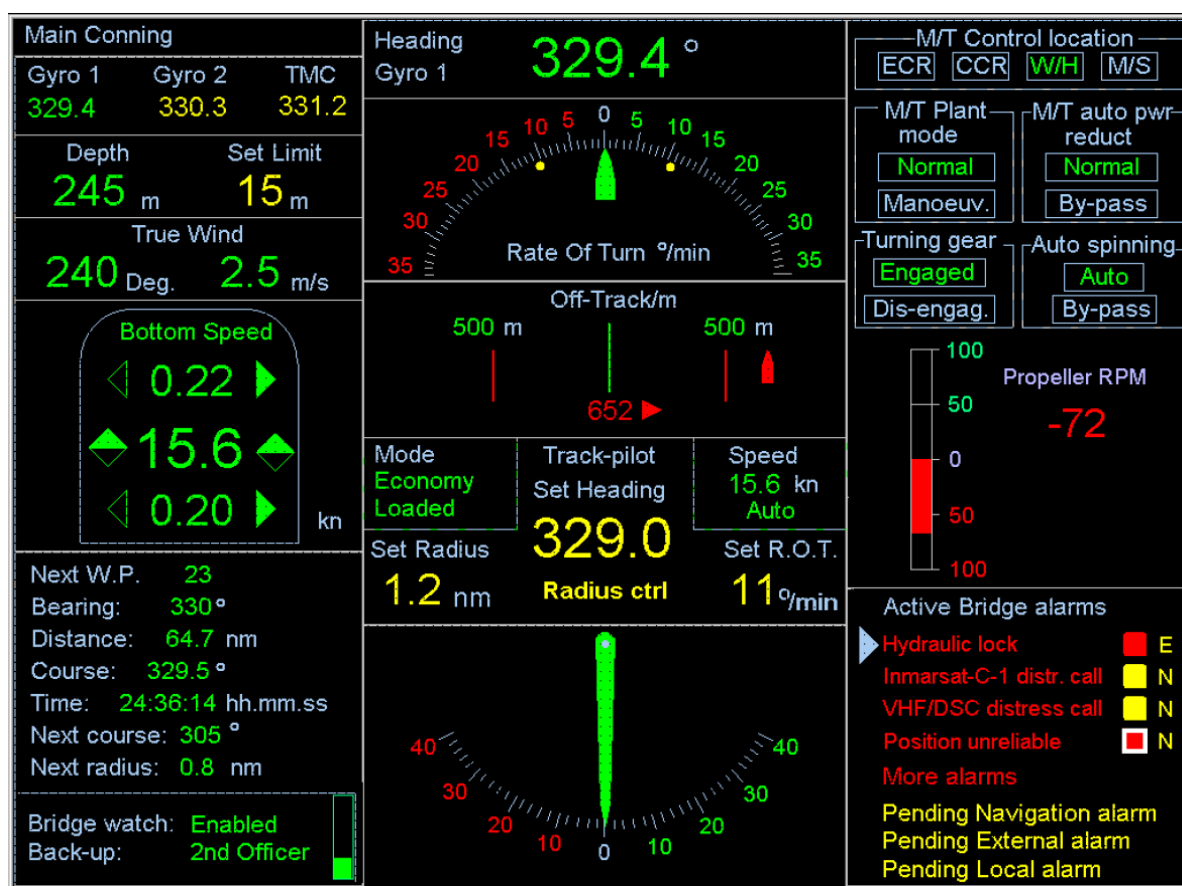


Рисунок 2.2 – Навигационная страница коннинг-дисплея Furuno BIS BR-2000

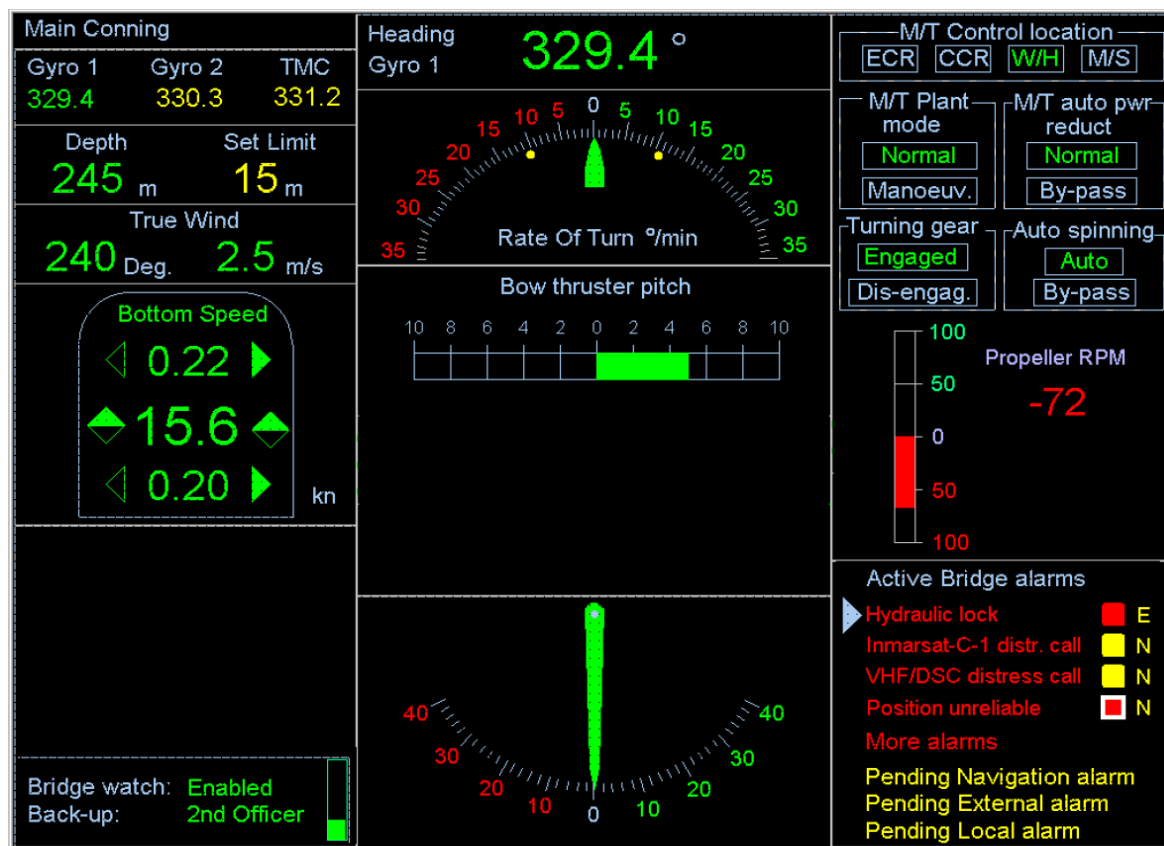
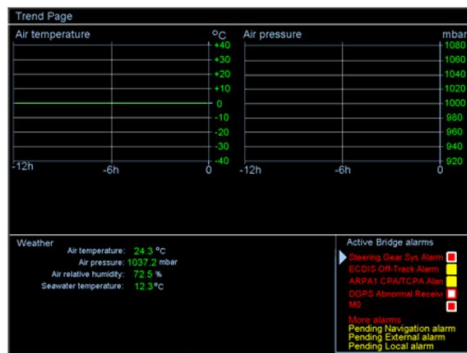


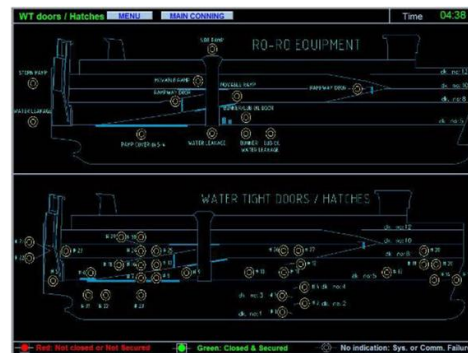
Рисунок 2.3 – Швартовная страница коннинг-дисплея Furuno BIS BR-2000



Рисунок 2.4 – Страница системы менеджмента тревожных сообщений на коннинг-дисплее Furuno BIS BR-2000



Weather trend page



Hull opening indication page



Fire alarm page



Dynamic monitoring page

Рисунок 2.5 – Дополнительные страницы коннинг-дисплея Furuno BIS BR-2000

Коннинг-дисплей для двухвинтового судна производства компании SAM ELECTRONICS представлен на рисунке 2.6.

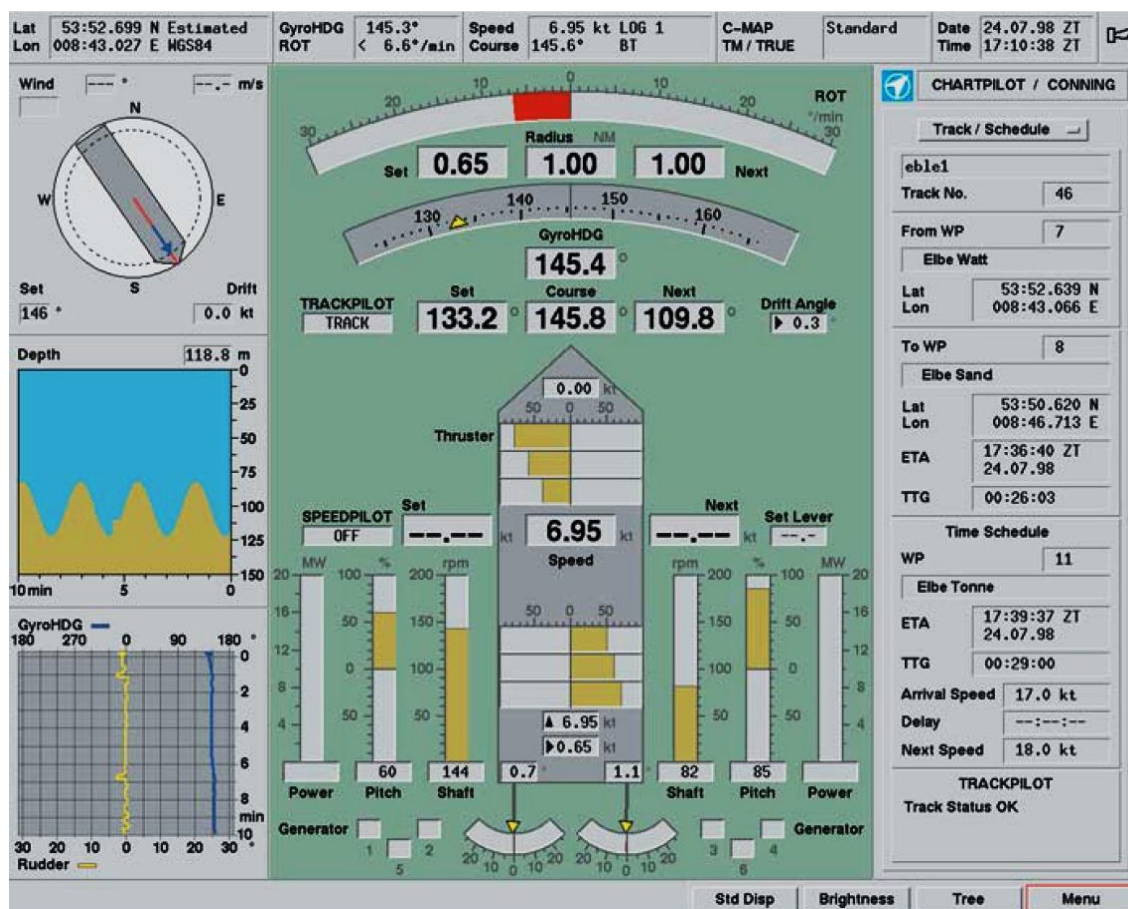


Рисунок 2.6 – Навигационная страница коннинг-дисплея двухвинтового судна от компании SAM ELECTRONICS

Коннинг-дисплей от компании “Alphatron” для судна, оборудованного системой динамического позиционирования, представлен на рисунке 2.7.

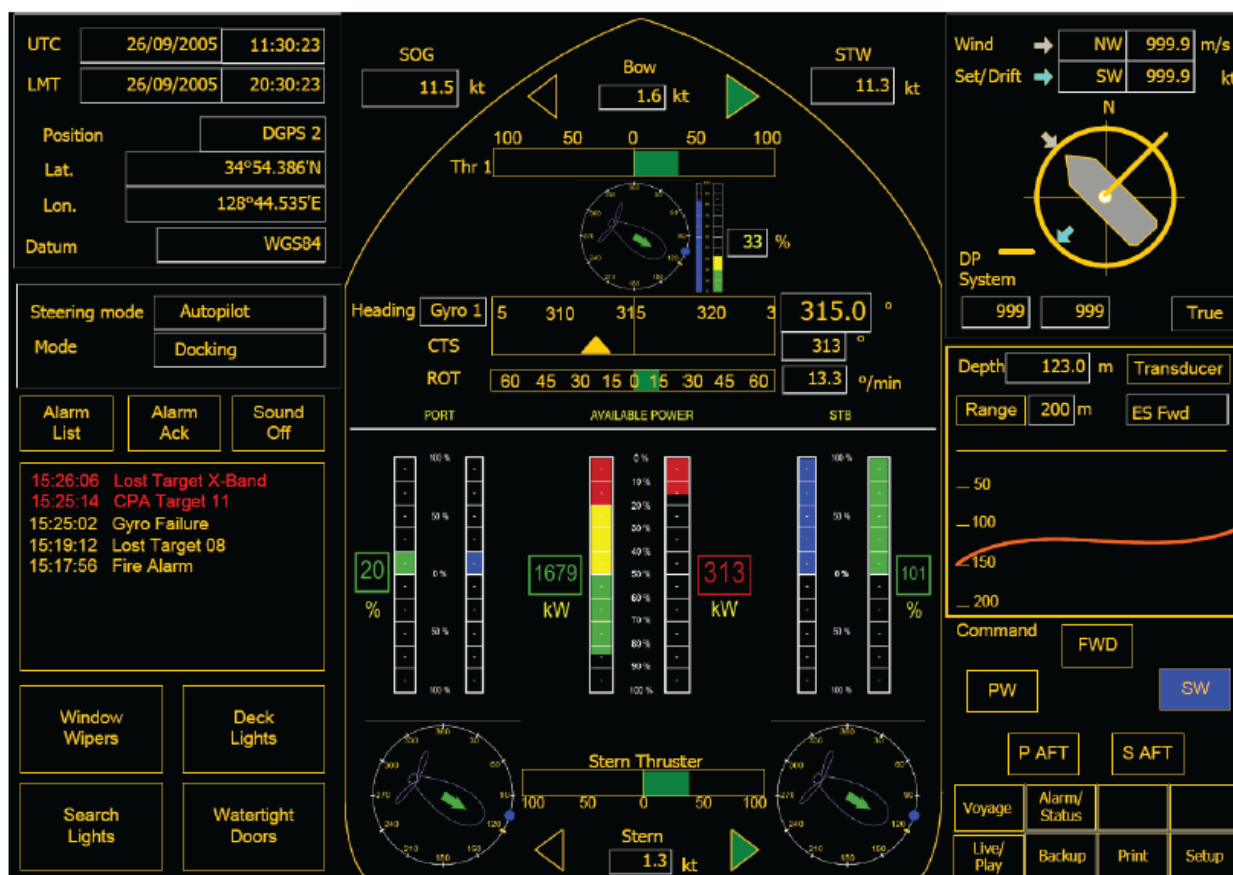


Рисунок 2.7 – Навигационная страница коннинг-дисплея для судна, оборудованного системой динамического позиционирования

Коннинг-дисплей тренажерного комплекса NT-Pro 5000 от компании “Transas” представлен на рисунке 2.8. Функционал КД позволяет помимо отображения широкого спектра информации осуществлять функции управления судном и его системами.

ECDIS, ARPA, RoT, CID, AMS, IBS, MFD, OMBO, VDR, AIS, CCTV.

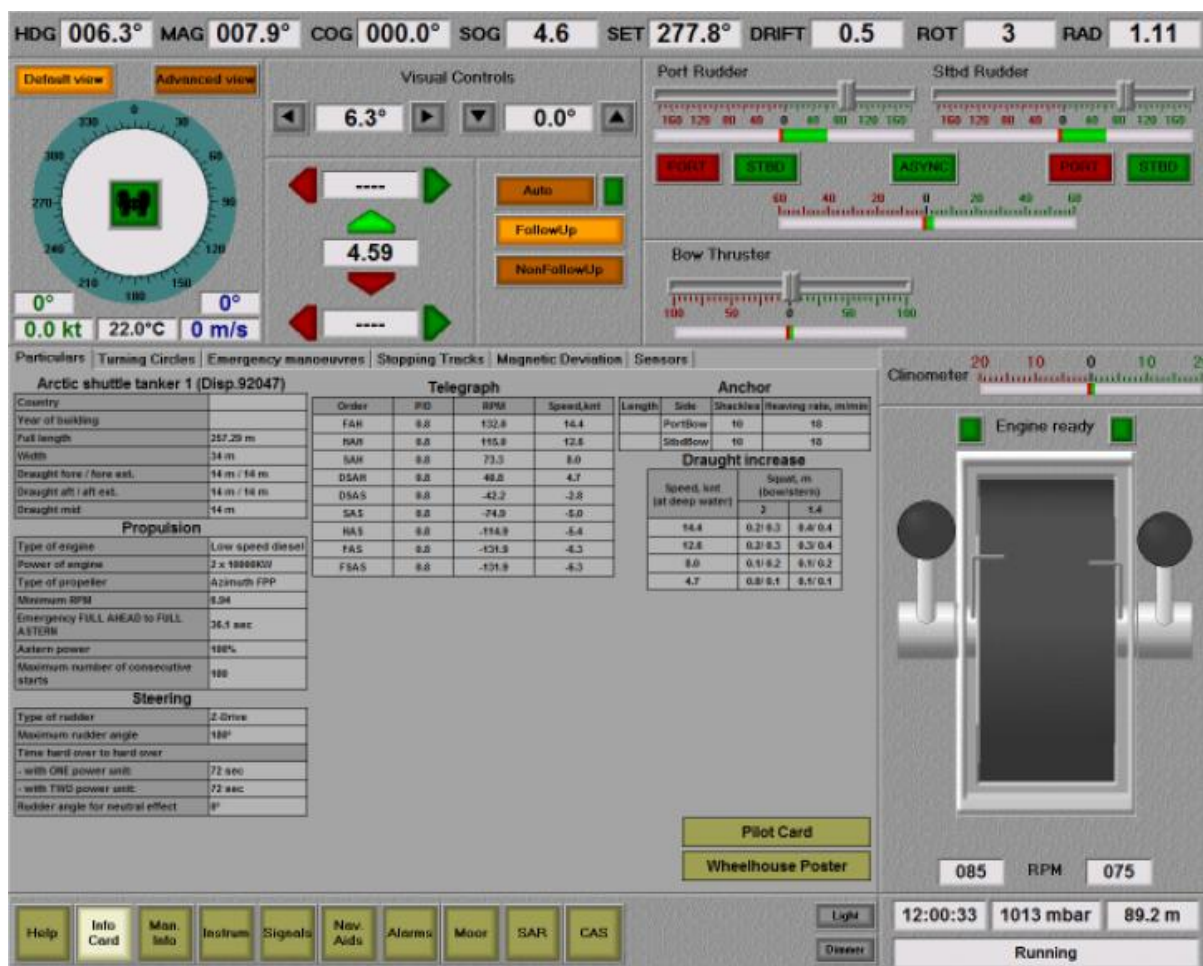


Рисунок 2.8 – Коннинг-дисплей тренажерного комплекса NT-Pro 5000

Подробно функционал КД тренажерного комплекса NT-Pro 5000 разбирается во время настоящего практического занятия под руководством преподавателя.

ECDIS электронная картография

ARPA Automatic Radar Plotting Aid

RoT угловая скорость поворота

CID conning integrated display

AMS Centralized Monitor-ing and Alarm Management System

IBS integrated bridge system

MFD Многофункциональный индикатор/дисплей

OMBO «one man bridge operation».

VDR Регистратор данных рейса VDR содержит интерфейсы ко всем возможным интегрированным системам управления и судовым датчикам. Модульная конструкция предлагает также много опций, таких как запись данных от четырех радаров, системы судового теленаблюдения CCTV. Consilium VDR соответствует резолюциям ИМО A.861 (20), IEC 61996, IEC 61996-2 (с поправками по S-VDR), IEC 60945 и IEC 68-2-27 ч. 2, а также Директиве ЕС №1999/35ЕС. Основной блок S-VDR. Система полностью пассивна и записывает все данные, поступающие в основной блок. Она не влияет на другие системы и на поступление прочих данных. Регистратор постоянно сохраняет данные за последние 12 часов, стирая устаревшие данные и заменяя их обновленными.

3. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ

1. Проверка остаточных знаний в виде устного опроса по пройденной теме «Устройство навигационного мостика судна».

2. По электронной презентации “Integrated Bridge Systems” под руководством преподавателя разобрать структуру и функционал коннинг-дисплея Furuno BIS BR-2000. Особое внимание следует обращать на английскую терминологию и аббревиатуры. Все непонятные сокращения следует выяснить во время занятия и при необходимости дополнить ими лекционный конспект. Выяснить отличия между различными режимами представления информации на КД.

3. Брифинг. Постановка целей и задач на занятие. Преподаватель доводит до обучающихся последовательность работы с использованием тренажера.

4. Запуск демонстрационного упражнения. Преподаватель на главном мостике демонстрирует состав и функционал навигационного мостика: основные ECDIS, ARPA, RoT, CID, AMS, IBS, MFD, OMBO, VDR, AIS, CCTV

5. Панели, приборы и системы; органы управления судном; панель подачи звуковых сигналов; основные принципы навигации в информационной системе мостика с помощью трекбола и специализированной клавиатуры.

6. Демонстрация функционала многофункциональных рабочих станций. Преподаватель кратко объясняет предназначение, возможности и принципы работы с МФРТ: станцией ЭКНИС, РЛС и КД. Демонстрируется работа специализированного ПО: Navi-Sailor, Navi-radar, Navi-Conning, Alarm Management System, Navi-Planner.

7. Демонстрация функционала коннинг-дисплея. Преподаватель последовательно демонстрирует экраны КД, объясняет их предназначение и возможности. Отмечает, с какими функциями КД обучающиеся столкнутся при самостоятельном выполнении упражнения.

Самостоятельная работа студентов в микрогруппах по 2-3 чел.

8. Использование функционала навигационного мостика при выполнении перехода. Обучающимся ставится задание совершить переход из точки а в точку б. Дается быстроходное судно (варианты: фидерный контейнеровоз, пассажирское судно) и прибрежный район плавания (варианты: пролив Босфор; район Датских проливов; заход в Сан-Франциско; заход в Гетеборг) главная задача обучающихся – усвоить предназначение приборов на центральной консоли мостика и адекватно воспринимать предоставляемую ими информацию; уметь получать основную информацию от ЭКНИС и РЛС; ориентироваться в структуре коннинг-дисплея, уметь находить в нем требуемую информацию. Система автоматизированной оценки компетентности (АСОК) в упражнении не используется.

9. Преподаватель во время выполнения упражнения периодически подходит к контролирует работу студентов, задавая вопросы по предназначению того или иного прибора и показаниям, которые они

предоставляют. Например, обучающимся выборочно ставятся задания: *показать угловую скорость поворота; координаты; курс судна; путевой угол; информацию о глубине; перейти на просмотр лоцманской карточки; перейти на страницу КД, позволяющую управлять сигналами; перейти из ручного на автоматическое управление; изменить режим работы главного двигателя; включить или выключить подруливающее устройство; перейти в швартовный режим КД; включить или выключить навигационные огни; показать датчики работы винта; на экране РЛС показать опасные цели; на экране ЭКНИС показать информацию от основных навигационных приборов судна; изменить яркость и масштаб изображения и т.д.*

10. Подведение итогов занятия. Преподаватель дополнительно отмечает основные сложности, возникшие при использовании элементов навигационного мостика во время выполнения упражнения.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую функцию в составе навигационного мостика выполняют многофункциональные рабочие станции?
2. Назовите обязательные для отображения на отдельных МФРТ виды графической информации?
3. В чем предназначение коннинг-дисплея?
4. Является ли коннинг-дисплей отдельным прибором?
5. Какие варианты отображения информации предусматриваются в коннинг-дисплеях?
6. В чем отличие швартовного режима КД от навигационного?
7. Какая информация обязательно выводится на экран КД в навигационном режиме?
8. Как представляется информация о тревожных сообщениях в коннинг-дисплеях?
9. В чем основная идея настраиваемого КД (configurable conning display)?
10. В чем отличие КД тренажера от реального КД? Какой функционал дополнительно присутствует?

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Чапчай П. А. Электронавигационные приборы : учебное пособие / П. А. Чапчай. – 2-е изд. – Одесса : ОНМА, 2012. – 161с.
2. Каретников В. В. Технические средства судовождения : учебник / В. В. Каретников. – СПб. : СПбГПУ, 2013. – 316 с.

Практическое занятие № 3
ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ НА СУДАХ. РАЗБОР ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ
И СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ДЛЯ СЛЕДУЮЩИХ СИСТЕМ:
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КУРСА СУДНА;
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ КРЕНА СУДНА;
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
В РЕФРИЖЕРАТОРНОЙ КАМЕРЕ; АВТОМАТИЧЕСКОГО
УДЕРЖАНИЯ СУДНА НА ПОЗИЦИИ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Формируемые компетенции

Категория компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Естественно-научная и общеинженерная области	ОПК-5. Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, обеспечивая выполнение требований информационной безопасности	ОПК-5.2. Умеет формулировать требования к программному обеспечению, необходимому пользователю; выполнять действия по загрузке изучаемых систем; применять полученные навыки работы с изучаемыми системами в работе с другими программами; применять основные информационные технологии и программные средства, которые используются при решении задач профессиональной деятельности;
Профессиональная компетенция	ПК-5. Способен обеспечить безопасное плавание судна путем использования информации от навигационного оборудования и систем, облегчающих процесс принятия решений	ПК-5.3. Знает взаимосвязь и оптимальное использование всех навигационных данных, имеющихся для осуществления плавания.

Объем: 2 академических часа.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по пройденным на лекциях темам «Основные понятия судовой автоматики» и «Принцип действия системы автоматического регулирования» – 10 мин.
2. Разбор принципа действия системы автоматического регулирования курса судна – 20 мин.
3. Разбор принципа действия системы автоматического регулирования крена судна – 20 мин.
4. Разбор принципа действия системы автоматического регулирования температуры в рефрижераторной камере – 15 мин.
5. Разбор принципа действия системы автоматического удержания судна на позиции – 20 мин.

6. Подведение итогов занятия – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Электронная презентация «Системы автоматического регулирования» с изображениями структурных схем рассматриваемых САР.
2. Мультимедиа проектор.
3. Пластиковая или смарт-доска.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Структурная схема САР

Традиционно система автоматического регулирования (САР) представляется в виде структурной схемы (рисунок 3.1). Под структурной схемой понимается простейшее представление элементов СА в виде прямоугольников, окружностей, стрелок и других обозначений, в том числе буквенных. Направление информационного сигнала/воздействия указывается стрелкой.

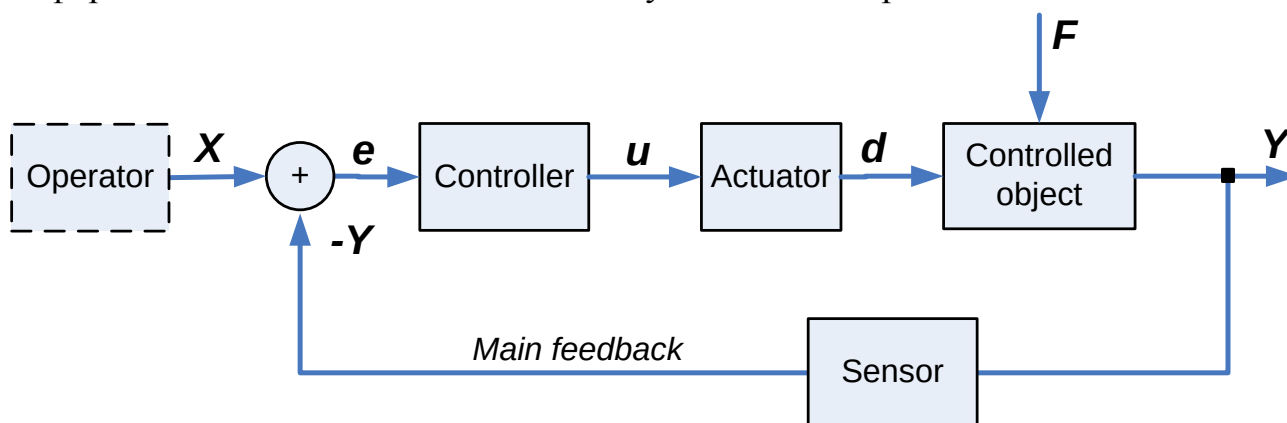


Рисунок 3.1 – Классическая схема САР с обратной связью

Принцип работы: Оператор (или программное устройство) задает входной параметр X (курс, скорость, частоту вращения и др.), который необходимо автоматически стабилизировать. Устройство сравнения (кружок с плюсом) сравнивает его с фактическим значением Y и, если они не совпадают ($e \neq 0$), подает разницу на управляющее устройство (регулятор/контроллер). Регулятор преобразует отклонение e (ошибку системы) в команду на исполнительное устройство (actuator) u по определенному закону. Исполнительное устройство воздействует непосредственно на объект управления (controlled object), возвращая его в требуемое состояние Y .

На ОУ постоянно действуют внешние возмущения F , вызывая отклонения регулируемого параметра от задаваемого значения X . Для обеспечения автоматического управления система должна быть замкнутой, т.е. информация о фактическом значении выходной величины Y должна непрерывно поступать на вход системы. Это обеспечивается с помощью обратной связи, реализованной в виде датчика.

2.2 Система автоматического регулирования курса судна в авторулевом САР курса судна, известная как Heading Control System, или проще – ав-

торулевой, является классической системой автоматического регулирования с отрицательной обратной связью, работающей по принципу отклонения. «Мозгом» или регулятором данной системы является контроллер авторулевого. Структурная схема представлена на рисунке 3.2.

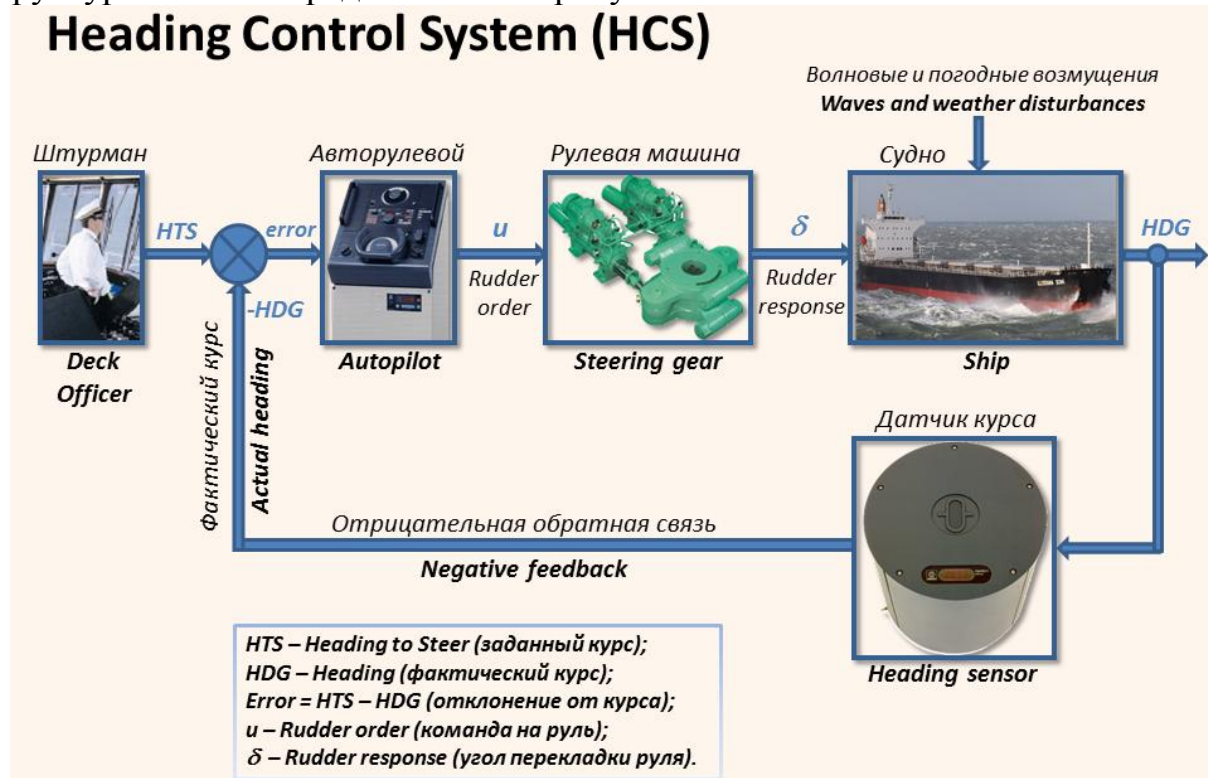


Рисунок 3.2 – Структурная схема САР курса судна

Принцип работы. Судоводитель задает авторулевому (АР) курс, который необходимо удерживать (Heading To Steer – HTS), например, 060. Далее происходит сравнение заданного курса с фактическим, который по обратной связи поступает в АР с гирокомпаса (Heading – HDG), например, 055. АР далее преобразует по определенному закону отклонение от курса (error) в команду на руль (rudder order, u), например, 8° (указание рулевой машине переложить перо руля на 8° правого борта). Далее гидравлический рулевой привод (steering gear) вырабатывает усилие для перекадки руля на этот угол (rudder response). Под действием переложенного руля (rudder put-over) судно доворачивает на 5° и ликвидирует отклонение от заданного курса, выходя на курс 060. Когда судно выходит на заданный курс ($HTS=HDG$), АР перестает подавать команду на РМ и руль возвращается в исходное положение.

Под действием внешних и внутренних возмущений (disturbances), таких как волны, ветер, течения, асимметрия корпуса и/или упора винта и др., судно уходит с заданного курса. Поэтому авторулевой периодически включает РМ и возвращает судно обратно на курс.

2.3 Система автоматического удержания судна на позиции

САР позиции судна, известная как система динамического позиционирования – ДП (Dynamic Positioning System – DP), также является классической системой автоматического регулирования с отрицательной обратной связью, работающей по принципу отклонения. «Мозгом» или регулятором данной сис-

темы является контроллер системы ДП. Структурная схема представлена на рисунке 3.3.

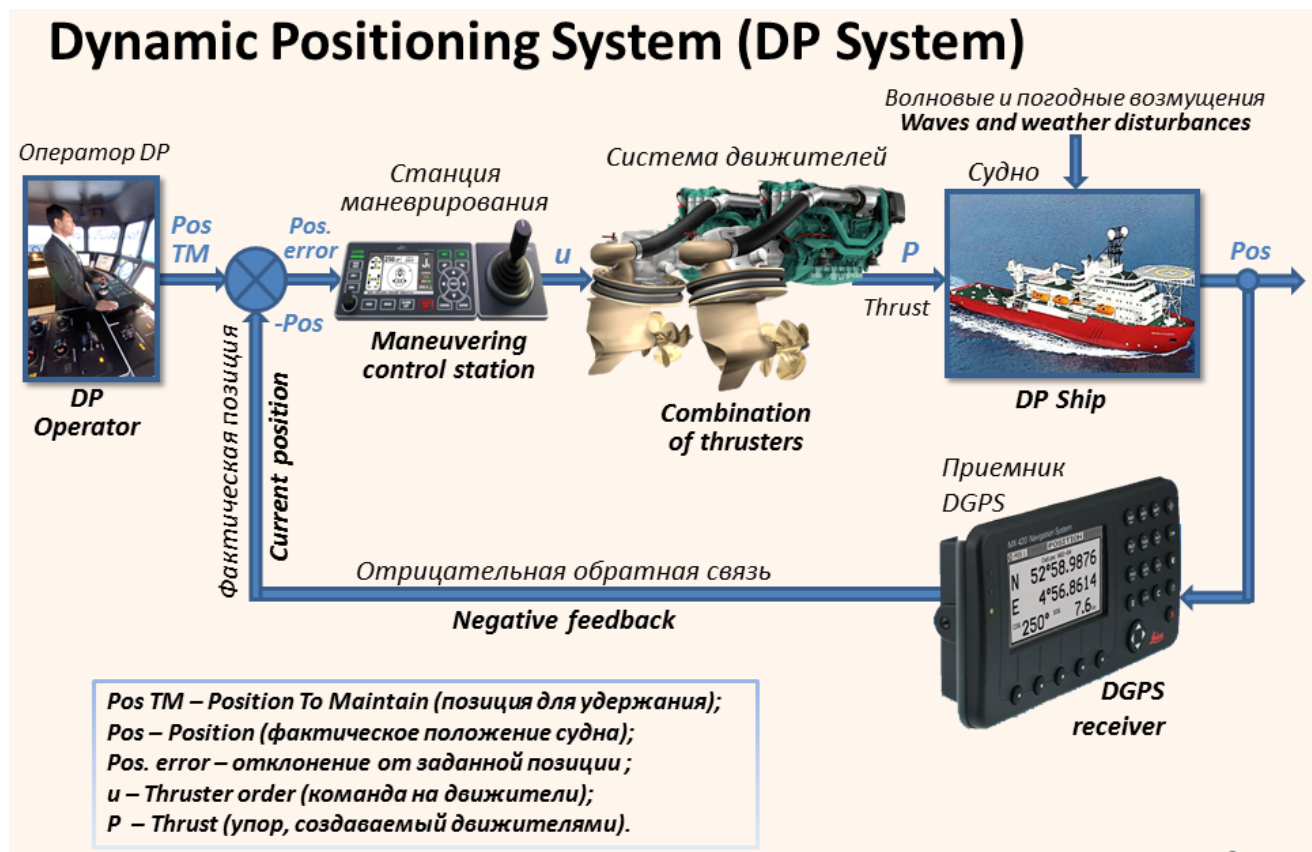


Рисунок 3.3 – Структурная схема САР позиции судна

Система ДП предназначена для обеспечения полной управляемости судну на предельно малых скоростях, в частности автоматического удержания судна на заданной позиции. Наличие на судне системы ДП обозначается в классе судна символом DynPos или аналогичным. Управляют судном в режиме ДП судоводители, имеющие дополнительную квалификацию ДП-оператора. Органом управления системой ДП являются отдельные ДП-контроллеры. Механическое перемещение (позиционирование) судна осуществляется с помощью системы носовых и кормовых подруливающих устройств (ПРУ), таких как туннельные трастеры, крыльчатые движители, винторулевые колонки, движители типа Azipod и др.). Основным датчиком является датчик позиции (как правило, высокоточный ГНСС-приемник) и датчик ориентации (гирокомпас).

Принцип работы: оператором фиксируется позиция, которую требуется удерживать. Далее она сравнивается с фактической позицией судна (current position). Контроллер системы ДП преобразует отклонение от заданной позиции (в метрах) в команды на ПРУ по определенному закону. ПРУ создают необходимый упор для возврата судна на заданную позицию.

В зависимости от функционала и степени надежности системы ДП могут быть трех классов – от 0 до 3. Высший класс систем ДП (DynPos3) имеет как минимум тройное резервирование всех ключевых систем и датчиков и отдельный полностью независимый изолированный командный пункт (рубку).

2.4 Система автоматического регулирования крена судна

САР крена судна, известная как AntiHeeling System (антихилинговая система – АХС), предназначена для обеспечения безопасности и остойчивости судна во время грузовых операций, существенно изменяющих метацентрическую высоту судна. АХС управляет креном судна путем перекачки балласта с одного борта на другой через систему трубопроводов. Управляющий контроллер АХС управляет работой балластных насосов и клапанов балластных танков. В качестве датчиков используются инклинометры/кренометры. Структурная схема представлена на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Структурная схема САР крена судна

Принцип работы: оператором задается допустимый угол крена при проведении грузовой операции, например, отрыве тяжеловесного груза своим краном от причала. Как только появляется усилие на грузовом кране, судно начинает накрениваться в сторону груза. При превышении углом крена заданного предела начинается перемещение балласта на противоположный борт до выравнивания судна. И так происходит на всех этапах погрузки.

2.5 Система автоматического регулирования температуры в рефрижераторной камере

Структурная схема САР регулирования температуры представлена на рисунке 3.5.

Cargo Temperature Control System

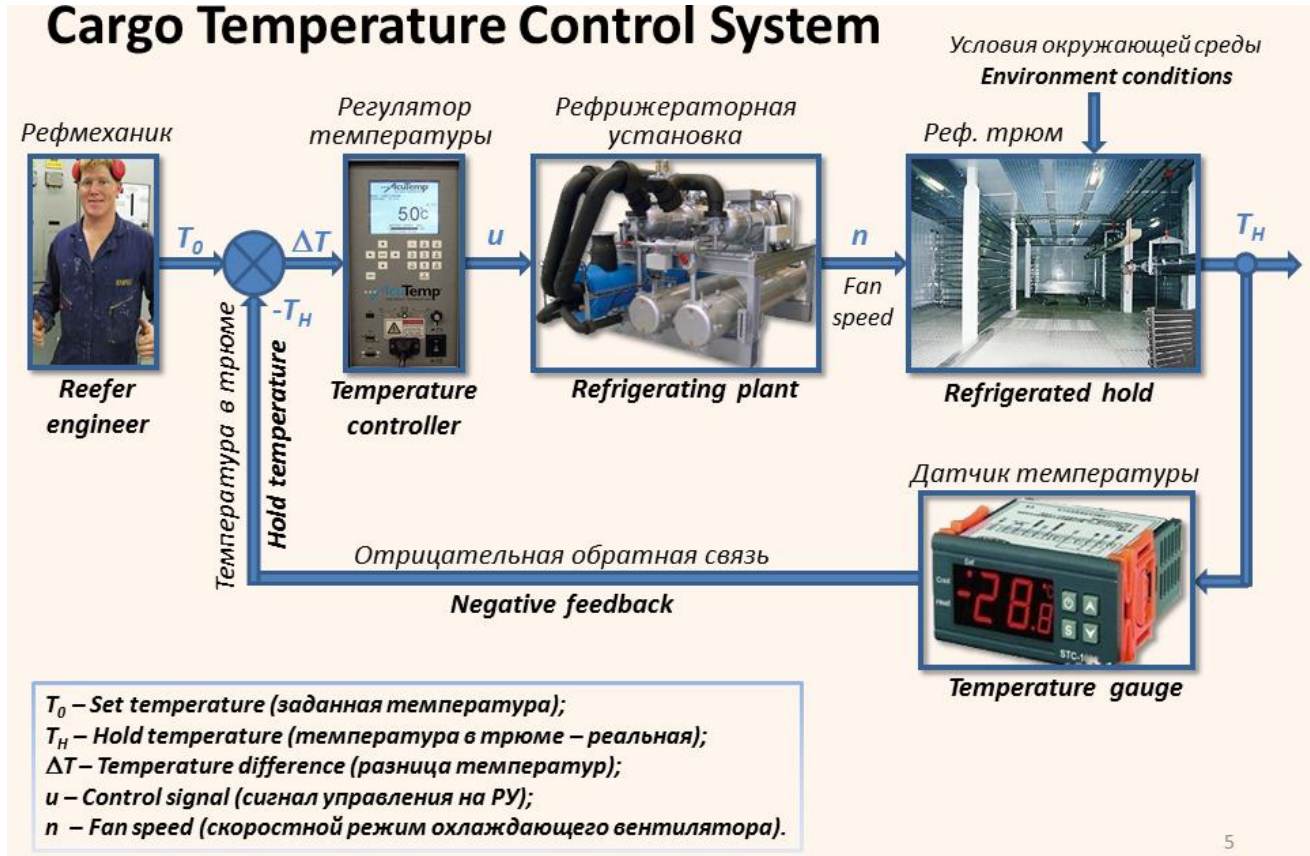


Рисунок 3.5 – Структурная схема САР температуры в рефрижераторной камере

Принцип работы аналогичен работе бытовых холодильников. Контроллер рефустановки поддерживает в рефрижераторной камере заданную оператором температуру с целью максимально сохранной перевозки скоропортящегося груза. При ее отклонении рефустанова активирует компрессоры, вентиляторы и др. для выравнивания температуры. Датчиками являются высокоточные промышленные термометры (temperature gauge). Объектом управления является рефкамера (контейнер, трюм).

3. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВО ВРЕМЯ ЗАНЯТИЯ

1. Проверка остаточных знаний в виде устного опроса по темам «Основные понятия судовой автоматики» и «Принцип действия системы автоматического регулирования».

2. По электронной презентации “Системы автоматического регулирования” под руководством преподавателя разобрать принцип действия системы автоматического регулирования курса судна. Особое внимание обучающимся следует обратить на терминологию на русском и английском языках. При необходимости следует дополнить ее свой лекционный конспект.

3. По электронной презентации “Системы автоматического регулирования” под руководством преподавателя разобрать принцип действия системы автоматического удержания судна на позиции. Особое внимание обучающимся следует обратить на терминологию на русском и английском языках. При необходимости следует дополнить ее свой лекционный конспект.

4. По электронной презентации “Системы автоматического регулирования” под руководством преподавателя разобрать принцип действия системы автоматического регулирования крена судна. Особое внимание обучающимся следует обратить на терминологию на русском и английском языках. При необходимости следует дополнить ею свой лекционный конспект.

5. По электронной презентации “Системы автоматического регулирования” под руководством преподавателя разобрать принцип действия системы автоматического регулирования температуры в рефрижераторной камере. Особое внимание обучающимся следует обратить на терминологию на русском и английском языках. При необходимости следует дополнить ею свой лекционный конспект.

6. Подвести итоги занятия. Отметить общие схожие и отличительные особенности разных САР. Назвать аналогичные системы САР на судне (не рассмотренные в ходе настоящего практического занятия).

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое «автоматическое регулирование» с точки зрения теории автоматического управления?

2. Для чего в систему управления вводится отрицательная обратная связь?

3. Как осуществляется процесс автоматического регулирования?

4. Что собой представляет «ошибка/отклонение» в системе автоматического регулирования?

5. Как называется устройство, воспринимающее отклонение регулируемого параметра от заданного значения и воздействующее на процесс в сторону его восстановления?

6. Как называется устройство, преобразующее сигнал управления в силовое (механическое) воздействие на объект управления?

7. Как называется источник информации, выходной сигнал которого соответствует текущему значению регулируемого параметра объекта?

8. Каким термином обозначаются внешние возмущающие воздействия на объект управления?

9. С помощью какого прибора осуществляется отрицательная обратная связь в системе автоматического управления?

10. Каково предназначение регулятора в системе автоматического регулирования?

11. Представьте структурную схему системы автоматического регулирования курса судна, кратко поясните принцип работы.

12. Представьте структурную схему системы автоматического регулирования температуры в рефрижераторном трюме/камере, кратко поясните принцип работы.

13. Представьте структурную схему системы автоматического регулирования крена судна, кратко поясните принцип работы.

14. Представьте структурную схему системы автоматического удержания судна на позиции, кратко поясните принцип работы.

15. Какое устройство является регулятором в системе автоматического управления движением судна?
16. Какой прибор осуществляет обратную связь в системе автоматического управления курсом судна?
17. Каким образом осуществляются управляющие воздействия в системе управления курсом судна?
18. Что является регулируемым параметром в антихилинговой системе?
19. С помощью какого датчика осуществляется обратная связь в системе автоматического удержания судна на позиции?
20. Как осуществляется обратная связь в системе автоматического управления температурой в рефрижераторной камере?

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Каретников В. В. Технические средства судовождения : учебник / В. В. Каретников. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 316 с.
2. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна : учебник / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. – 3-е изд., перераб. и доп. - Одесса : Фенікс ; М. : ТрансЛит, 2007. – 381 с.

Практическое занятие № 4
НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРА АВТОРУЛЕВОГО.
УПРАВЛЕНИЕ СУДНОМ НА КУРСЕ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАСТРОЙКАХ АВТОРУЛЕВОГО

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Формируемые компетенции

Категория компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональная компетенция	ПК-5. Способен обеспечить безопасное плавание судна путем использования информации от навигационного оборудования и систем, облегчающих процесс принятия решений	ПК-5.2. Умеет оценивать навигационную информацию, получаемую из всех источников, включая радиолокатор и САРП, с целью принятия решений и выполнения команд для избежания столкновения и для управления безопасным плаванием судна; ПК-5.3. Знает взаимосвязь и оптимальное использование всех навигационных данных, имеющихся для осуществления плавания.

Объем: 4 академических часа.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по пройденной теме «Системы автоматического регулирования» – 10 мин.
2. Изучение структурной схемы и основных элементов САУКС – 10 мин.
3. Изучение принципа ПИД-регулирования курса – 10 мин.
4. Построение диаграммы выхода судна на новый курс с П-управлением – 20 мин.
5. Реализация эффекта одерживания судна. Построение диаграммы выхода судна на новый курс с ПД-управлением – 20 мин.
6. Изучение принципа интегрального управления при стабилизации на заданном курсе – 10 мин.
7. Подведение итогов занятия – 10 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Презентация «Система автоматического управления движением судна».
2. Смарт-доска и мультимедиа аппаратура.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Общие сведения о ПИД-регулировании в авторулевых

В соответствии с правилом 19 главы 5 СОЛАС все суда валовой вместимо-

сти 10000 и более снабжаются системами автоматического управления движением судна по курсу (Heading control System – HCS) или траектории (Track Control system). Такая система получила название «авторулевой». На практике на суда меньшей валовой вместимости, совершающие длительные переходы, также предпочитают устанавливать авторулевые из-за их пользы и экономической выгоды.

Морское судно при движении является сложным объектом управления, которому присущи следующие особенности:

- оно находится под непрерывным воздействием трудно учитываемых возмущающих сил (волнение, ветер, течения и т.д.);
- обладает большой инерционностью (т.е. для осуществления маневра требуется значительное время – несколько минут или десятков минут).
- на динамические свойства судна влияют изменения загрузки и путевых условий (мелководье, каналы, реки).

Задача системы автоматического управления курсом судна (САУКС) заключается в том, чтобы, компенсируя действующие на корпус возмущения, обеспечить движение судна по заданному курсу с требуемой точностью. Управляющие воздействия создаются с помощью перекладок руля. С их помощью компенсируется снос судна, вызванный возмущениями, и восстанавливается первоначальное состояние объекта.

Авторулевые выполняют две основные функции: удержание судна на линии заданного курса (в автоматическом режиме) и изменение курса на заданную величину (в автоматическом или ручном режиме).

САУКС обеспечивает безопасность и экономическую эффективность эксплуатации судна, освобождает человека от постоянной вахты на руле, уменьшает пропульсивные потери из-за сопротивления движению судна, вызванного действием руля.

САУКС является классической системой автоматического регулирования с отрицательной обратной связью, работающей по принципу отклонения. САУКС включает 4 основных элемента (рисунок 4.1): объект управления (судно), главную отрицательную обратную связь ОС (осуществляется через курсоуказатель), исполнительный механизм (рулевую машину) и регулятор (контроллер) авторулевого. На судно действуют возмущающие f (disturbances) и управляющие воздействия HTS (heading to steer). Возмущающие воздействия (ветер, волнение, течения) носят случайный характер и приводят к отклонению судна от заданного курса. На входе системы происходит сравнение заданного значения HTS и фактического HDG курсов (полученного от курсоуказателя), и их разность e (error – ошибка) поступает на вход регулятора авторулевого.

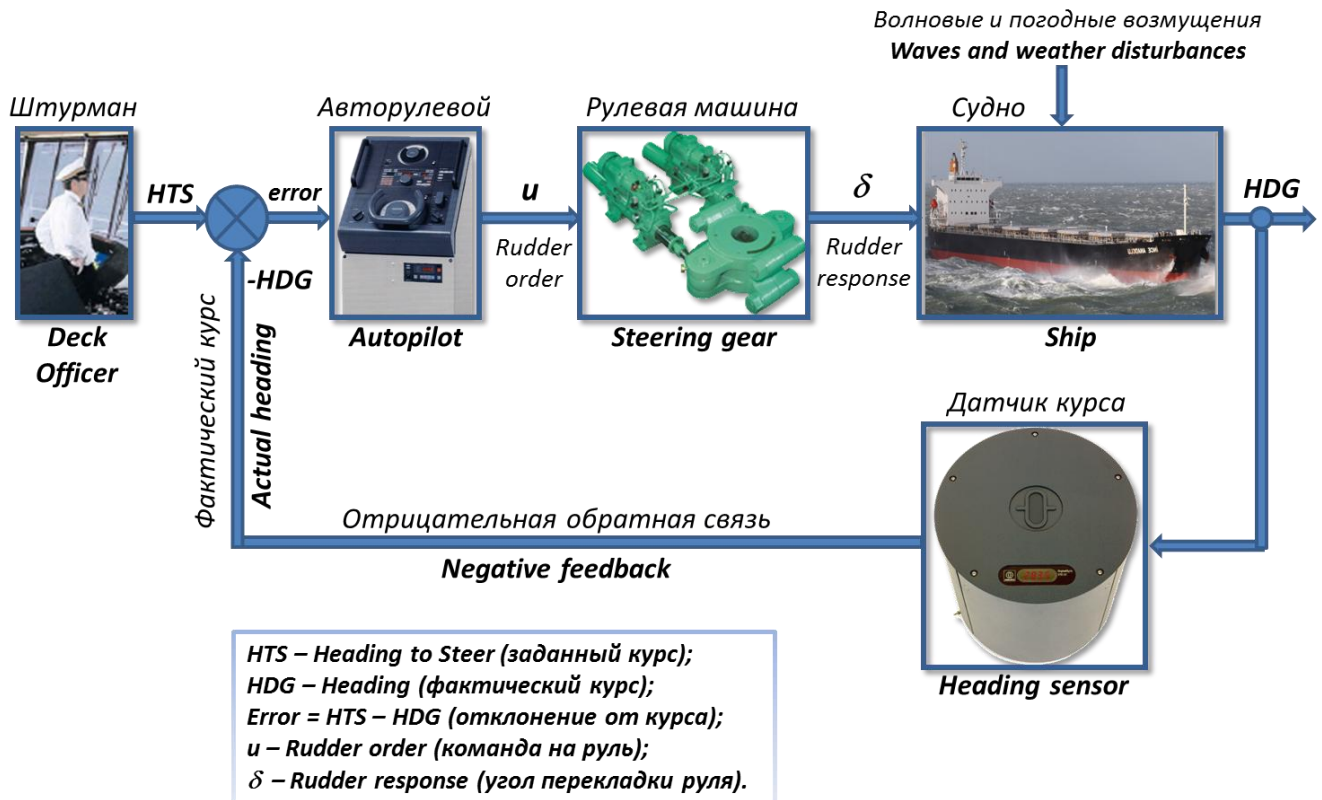


Рисунок 4.1 – Структурная схема САУКС

Назначением регулятора является преобразование по определенному закону отклонения $error$ судна от заданного курса в команду на руль u . Под термином «авторулевой» обычно понимают именно регулятор. При аварийном ручном управлении функции регулятора выполняет человек-судоводитель непосредственно из румпельного отделения (при отказе авторулевого). Отклонение пера руля на угол δ вызывает управляющее воздействие на судно, компенсирующее внешнее возмущение.

Регулятор авторулевого работает по трем каналам: пропорциональному, дифференциальному и интегральному (ПИД-регулирование), т.е. вырабатывает три управляющих сигнала:

- 1) пропорциональный отклонению от курса $U_p = K_p \cdot e$;
- 2) пропорциональный скорости отклонения от курса $U_d = K_d \cdot \dot{e}$;
- 3) пропорциональный интегралу отклонения от курса $U_i = K_i \cdot \int e$.

В большинстве авторулевых при этом используется общий коэффициент усиления K_C (рисунок 4.2).

Уравнение пропорционального регулятора:

$$\delta = K_C e = \frac{1}{K_{OC}} e,$$

где K_C – коэффициент усиления по пропорциональному каналу; K_{OC} – коэффициент обратной связи (отношение значения изменения курса к углу перекладки). Во многих классических авторулевых (типа АТР, «Аист») общий коэффициент усиления реализован в канале обратной связи.

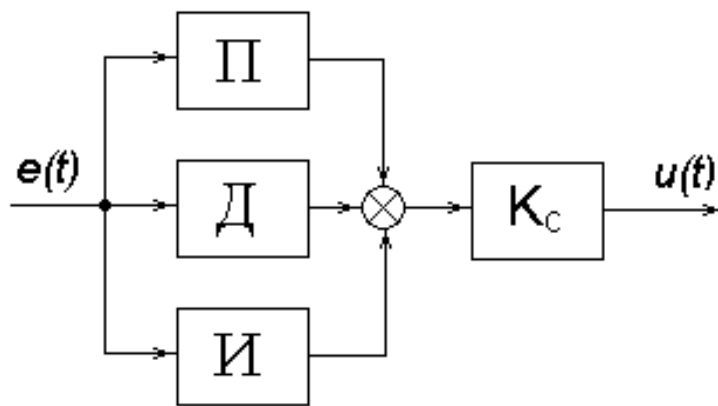


Рисунок 4.2 – Схема регулятора авторулевого

При намеренном изменении курса или отклонении от него в САУКС с точки зрения теории автоматического управления возникает переходный процесс. При этом в регуляторе вырабатывается электрический сигнал, соответствующий необходимому значению угла перекадки руля. Этот сигнал поступает на вход исполнительного механизма (усилитель рулевой машины). Рулевая машина начинает перекадку руля, которая продолжается до тех пор, пока рассогласование не исчезнет (т.е. $HTS = HDG$). При этом условии сигнал на входе САУКС станет равным нулю. Однако при чисто пропорциональном управлении не происходит одерживания судна, т. е. руль работает без упреждения поворота. В результате судно, достигнув заданного курса, в силу большой инерционности перейдет заданное значение курса и отклонится на довольно значительную величину (рисунок 1.3, черная кривая “P-control”). Величина отклонения называется перерегулированием (overshoot) САУКС. При чисто пропорциональном управлении может достигать нескольких десятков процентов. Подобное поведение судна не допустимо!

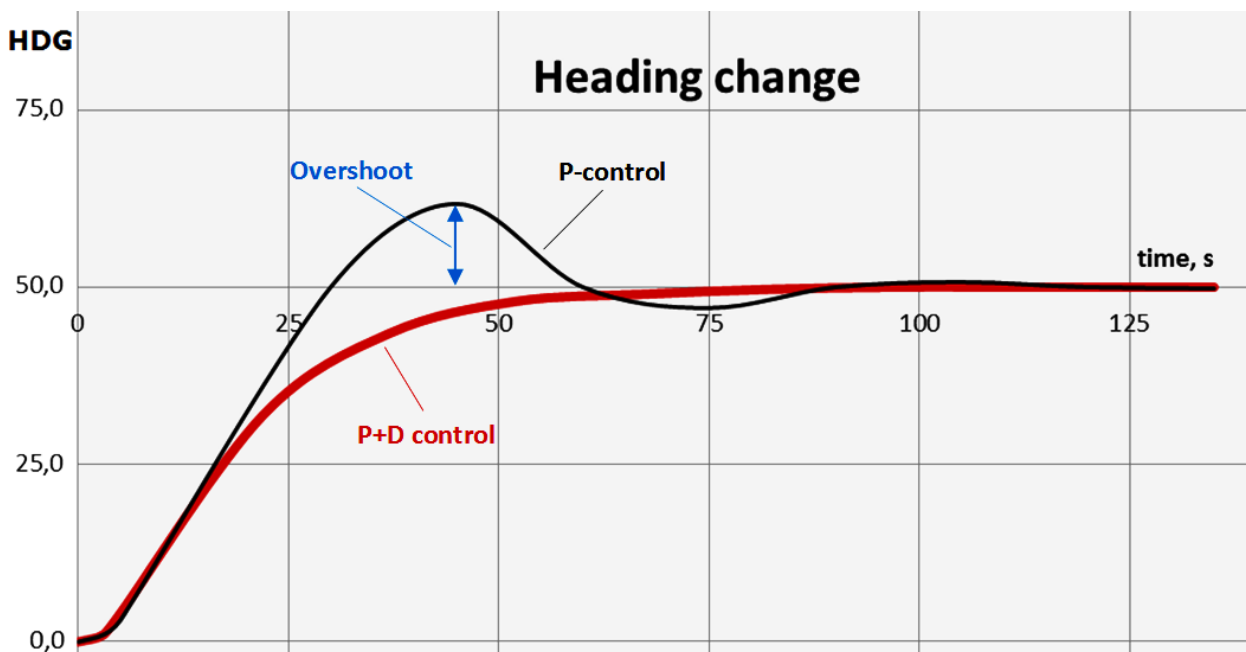


Рисунок 4.3 – Переходный процесс выхода на новый курс

С целью сократить перерегулирование (создать эффект одерживания) регулятор вырабатывает сигнал, пропорциональный угловой скорости поворота (дифференциальный канал ПД регулятора):

$$\delta = \frac{1}{K_{oc}} \left(e + K_d \frac{de}{dt} \right).$$

Здесь K_d – коэффициент канала производной (от 0 до 1).

Переходный процесс при наличии Д-канала значительно улучшается (показано на рисунке 4.3, красная кривая “P+D control”). ПД-закон управления используется в АР при выполнении поворотов. Однако недостатком ПД-авторулевого в режиме стабилизации на заданном курсе является наличие в САУКС статической ошибки, обусловленной несимметричным рысканием (в силу асимметрии обводов корпуса, ветровых воздействий, течений и т.д.). Для компенсации асимметрии судна необходим постоянный момент, т.е. постоянное смещение пера руля на некоторый угол. Для обеспечения этого угла в регулятор вводится еще один канал – интегральный. Таким образом, закон управления приобретает вид:

$$\delta = \frac{1}{K_{oc}} \left(e + K_d \frac{de}{dt} + K_i \int e dt \right), \quad (4.1)$$

где K_i – коэффициент усиления по интегральному каналу. Выражение (4.1) представляет собой основное уравнение (математическую модель) регулятора большинства используемых в настоящее время авторулевых. Подобные регуляторы известны как ПИД-регуляторы.

В настоящее время на большинстве судов в качестве основного курсоуказателя, реализующего обратную связь в авторулевом, используется гироскопический компас, а магнитный или спутниковый компас используются в качестве контролирующего и резервного курсоуказателя.

Настройка авторулевого

Значения коэффициентов K_{oc} (K_C), K_d , K_i закона управления курсом (см. формулу 4.1) определяют качество управления курсом судна. Во всех авторулевых ручной регулировке подлежат K_{oc} (K_C) и K_d . Первый параметр в зарубежных АР обычно называется «rudder», а второй – «counter-rudder». K_i (настройка интегрального канала) обычно задается при ходовых испытаниях и в процессе плавания вручную не меняется.

Параметр K_c («Rudder») определяет общую чувствительность САУКС на возникновение рассогласования от заданного курса. Его следует изменять при

- изменении загрузки судна. При увеличении загрузки чувствительность следует увеличивать, при уменьшении – снижать;
- изменении скорости судна. При уменьшении скорости судна управляемость ухудшается и чувствительность системы следует увеличивать;
- глубины при плавании на мелководье (Каспийское море, Азовское море и др.), в пресных водоемах. При этом сопротивление движению возрастает и чувствительность следует увеличить.

Если чувствительность (параметр “Rudder”) слишком высока, то будет

иметь место слишком большие углы перекадки руля, как следствие, зарывание судна на волнении. Это ведет к увеличению пропульсивных потерь, снижению скорости хода, повышению расхода топлива, снижению ресурса рулевой машины (!).

Если чувствительность (параметр “Rudder”) слишком мала, то будут возникать большие отклонения от заданного курса, поскольку САУКС не будет успевать отрабатывать возникающие рассогласования.

Параметр K_d (“Counter-rudder”) обычно регулируют при изменении внешних условий плавания – на волнении. При сильном волнении резкие гидродинамические удары волн и порывы ветра вызывают кратковременное резкое отклонение от курса. При этом величина рыскания может быть не большой – $1\text{--}5^\circ$ (существенно зависит от курсовых углов волн, соотношения длины судна к длине волны, скорости бега волн), однако угловая скорость рыскания может достигать больших значений. Резкое возрастание ω ведет к резкому увеличению дифференциальной составляющей ПИД-закона управления, вызывая резкую отработку рулем с большой амплитудой.

Между волнением и рысканием нет прямой связи. Рыскание судна практически нельзя уменьшить контрдействиями руля, следовательно, нет смысла в резких перекадках руля в ответ на каждое рыскание (см. рисунок 4.4)! По этой причине при плавании в режиме волнения необходимо уменьшать влияние Д-канала (см. рисунок 4.4). При плавании в тихую погоду K_d следует увеличить для более точного удержания на курсе.

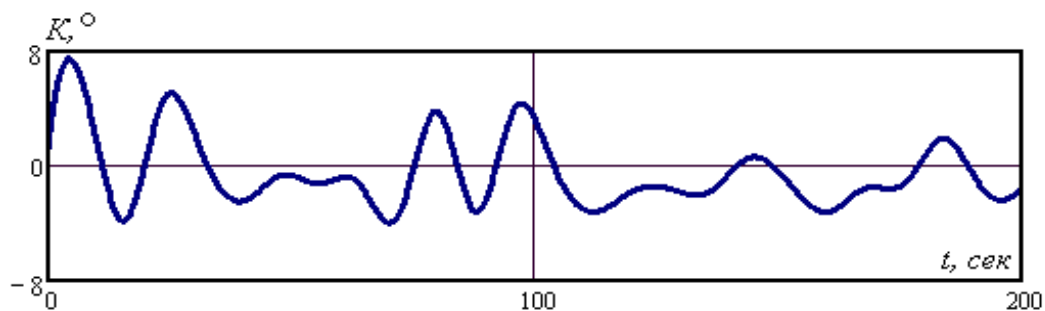


Рисунок 4.4 – Рыскание судна

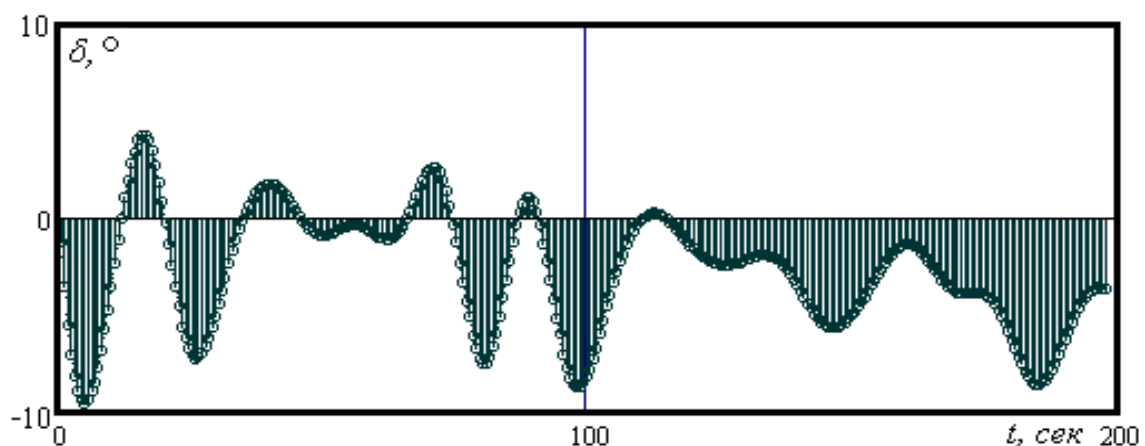


Рисунок 4.5 – Неправильно настроенный Д-канал управления (слишком частные амплитудные включения рулевой машины)

Влияние настройки “Counter-rudder” при выполнении поворота наглядно представлено на рисунке 4.6. При отключении настройки (**OFF**) одерживание не осуществляется. Имеет место значительное перерегулирование. При максимальном одерживании (**Max**) выход на новый курс слишком вялый и неточный. Оптимальное значение (**Optimal**) обеспечивает точный выход на новый курс без перерегулирования за приемлемое время. Эта настройка выбирается опытным путем в зависимости от характеристик управляемости судна.

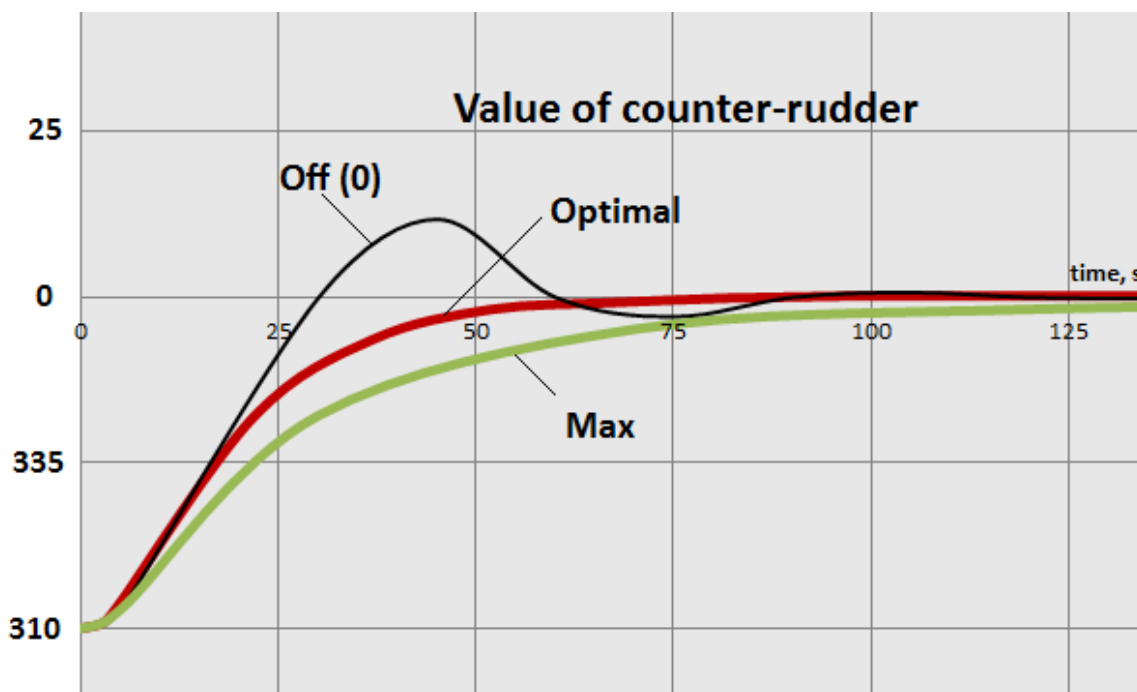


Рисунок 4.6 – Выход на новый курс при различных значениях настройки “Counter-Rudder”

2.2. Особенности настройки авторулевого “Transas” согласно руководству по эксплуатации

Ввод настроечных параметров авторулевого

Клавиши для редактирования параметров авторулевого находятся в левой части панели. Активная клавиша параметра выделяется зеленой подсветкой. Подсветка выключается, если нажать **Enter** или по истечении 10 с.

Некоторые клавиши имеют дополнительные индикаторы (справа). Для выбора необходимого индикатора следует последовательно нажимать соответствующую клавишу. Активный индикатор выделяется желтой подсветкой. При мигании индикатора следует подтвердить значение параметра клавишей **Enter** или ввести новое значение, используя джойстик. Значение выбранного параметра отображается на индикаторе **SETTING**.

Ввод параметра Yawing

Для установки параметра:

1. Нажмите клавишу **Yawing**.
2. Для выбора стандартной установки параметра нажимайте клавишу **Yawing**, пока не высветится требуемый индикатор: **Economy** (1); **Medium** (2) – установка по умолчанию; **Precise** (6).

3. Значение стандартной установки параметра выводится на индикаторе **SETTING**.

4. Нажмите клавишу **Enter** для подтверждения выбора.

5. Если требуется переопределить стандартную установку, используйте джойстик (вверх – увеличить, вниз – уменьшить значение параметра).

6. Нажмите клавишу **Enter** для подтверждения изменения.

Ввод параметра Rudder

Для установки параметра:

1. Нажмите клавишу **Rudder**.

2. Для выбора стандартной установки параметра нажимайте клавишу **Rudder**, пока не высветится необходимый индикатор: **Ballast** – 1; **Medium** – 5 (установка по умолчанию); **Loaded** – 9.

3. Значение стандартной установки параметра выводится на индикаторе **SETTING**.

4. Нажмите клавишу **Enter** для подтверждения выбора.

5. Если требуется переопределить стандартную установку, используется джойстик (вверх/вниз – увеличить/уменьшить значение параметра).

6. Нажмите кнопку **Enter** для подтверждения изменения.

Ввод параметра Speed

Существует два режима ввода скорости: ручной (Manual) и автоматический (Log) – данные поступают от лага.

Примечание: По умолчанию установлен режим Log.

Для установки параметра:

1. Нажмите клавишу **Speed**.

2. Для выбора режима ввода скорости нажимайте клавишу **Speed**, пока не высветится необходимый индикатор (**Manual** или **Log**).

3. При выборе режима **Manual** на индикаторе **SETTING** выводится последнее введенное значение скорости.

4. Нажмите **Enter** для подтверждения выбора или используйте джойстик для изменения значения (вверх/вниз – увеличить/уменьшить) и нажмите **Enter**.

Примечание: При выборе режима **Log** нажимать кнопку **Enter** не требуется.

Выбор параметра Heading

1. Чтобы выбрать гиро- или магнитный компас для определения курса судна, нажимайте клавишу **Heading**, пока не высветится требуемый индикатор (**Gyro** или **MAGN**).

2. На дисплее (**Heading/COG**) будет отображаться текущий курс.

Примечание: По умолчанию выбран параметр **Gyro**.

Ввод параметра Count Rudder

Для установки параметра:

1. Нажмите клавишу **Count Rudder**. Значение параметра отобразится на индикаторе **SETTING**.

2. Для подтверждения нажмите **Enter**.

3. Для изменения исходного значения (5 – по умолчанию) используйте джойстик: вверх/вниз – увеличить/уменьшить значение (от 0 до 9). Нажмите клавишу **Enter**.

Ввод параметра Rudder Limit

Существует два режима ввода значения параметра Rudder Limit:

1 Manual – ручной, задается по умолчанию;

2 Auto – автоматический, зависит от скорости судна.

Для установки параметра:

1. Нажмите клавишу **Rudder Limit**. При выборе режима Manual значение параметра будет отображаться на индикаторе **SETTING**. Подсвеченный индикатор кнопки будет мигать.

2. Нажмите клавишу **Enter** для подтверждения выбора или используйте джойстик для изменения значения (вверх/вниз – увеличить/уменьшить) и нажмите **Enter**.

Примечание: При выборе режима Auto подтверждения не требуется. Ограничение поворота руля будет выбираться автоматически.

Ввод параметра Off Course Limit

Для установки параметра:

1. Нажмите кнопку **Off Course Limit**. Значение параметра отобразится на индикаторе **SETTING**.

2. Для подтверждения нажмите кнопку **Enter**.

3. Для изменения исходного значения используйте джойстик: вверх/вниз – увеличить/уменьшить значение (от 1 до 30). Нажмите клавишу **Enter**.

Ввод параметра Dev. Limit

Для установки параметра:

1. Нажмите клавишу **Dev. Limit** для редактирования значения отклонения между показаниями курса гиро- и магнитного компасов. Значение параметра отобразится на индикаторе **SETTING** (по 6 град).

2. Для подтверждения нажмите клавишу **Enter**.

3. Для изменения исходного значения используйте джойстик: вверх/вниз – увеличить/уменьшить значение (от 0 до 15). Нажмите клавишу **Enter**.

Квитирование сигналов тревог

При срабатывании тревоги раздается звуковой сигнал и на панели авторулевого начинает мигать соответствующая кнопка или индикатор, а также выделяется красной подсветкой и начинает мигать клавиша **Alarm Ack**.

Для квитирования сигнала тревоги следует нажать клавишу **Alarm Ack**.

2.3 Особенности настройки авторулевого “NautoPilot D” согласно руководству по эксплуатации

Ввод/проверка параметра “Rudder”

Авторулевой задает коэффициент соответствия угла перекладки руля величине отклонения от курса. Чем выше этот коэффициент, тем больше изменение положения руля при том же отклонении судна от курса. Слишком большой коэффициент “Rudder” приводит к тому, что судно проскакивает заданный курс. А в случае очень низкого значения коэффициента судно выходит на заданный курс слишком медленно.

Для установки параметра:

1. Нажимайте кнопки выбора $\uparrow$ или $\downarrow$, до тех пор, пока не высветится кнопка функции “Rudder”. Слова “Set Course” (заданный курс) погаснут. Окно панели будет содержать текущее значение коэффициента.

2. Поворачивайте вращающуюся рукоятку до тех пор, пока не появится требуемое значение коэффициента в окне панели (от 1 до 6). Индикатор кнопки “Set” замигает.

3. Нажмите кнопку “Set”, авторулевой примет новое значения коэффициента. Если кнопка “Set” не будет нажата в течение 15 секунд, в системе сохранится старое значение коэффициента.

Ввод/проверка параметра “Counter Rudder”

Дифференциальный компонент авторулевого устанавливается по “Counter Rudder” (коэффициенту одерживания судна). Чем выше значение этого коэффициента, тем сильнее одерживание во время выхода на заданный курс. Поэтому слишком низкие значения коэффициента приводят к тому, что судно проскакивает заданный курс. А в случае слишком больших значений судно очень долго на него выходит, так как авторулевой рано начинает одерживать.

Для установки параметра:

1. Нажимайте кнопки выбора $\uparrow$ или $\downarrow$ до тех пор, пока не высветится кнопка функции “Count.Rud”. Слова “Set Course” (заданный курс) погаснут. Окно панели будет содержать текущее значение коэффициента.

2. Поворачивайте вращающуюся рукоятку до тех пор, пока не появится требуемое значение коэффициента в окне панели (от 0 до 9). Индикатор кнопки “Set” замигает.

3. Нажмите кнопку “Set” – авторулевой примет новое значения коэффициента. Если кнопка “Set” не будет нажата в течение 15 секунд, в системе сохранится старое значение коэффициента.

Ввод/проверка параметра Speed

Параметр “Speed” необходим для автоматической адаптации авторулевого (т.е. самостоятельной настройки коэффициентов “Rudder” и “Count.Rud”) при управлении курсом судна на различных его скоростях. Скорость может вводиться как вручную, так и автоматически от лага. Ручной ввод параметра скорости производится поворотом вращающейся рукоятки. По умолчанию при ручном вводе установлена скорость 20 узлов. Если судно часто меняет скорость, то лучше переключиться на лаг.

Для установки параметра:

1. Нажимайте кнопки выбора $\uparrow$ или $\downarrow$ до тех пор, пока не высветится кнопка функции “Speed”. При вводе скорости по лагу окно панели содержит текущее значение скорости по лагу, перед которым стоит буква "L" (log).

2. Слова “Set Course” (заданный курс) погаснут. Окно панели будет содержать текущее значение коэффициента.

3. Поворачивайте вращающуюся рукоятку до тех пор, пока в окне панели не появится нужное значение и буква "H" (hand – ручной) перед установленной величиной. Индикатор кнопки “Set” замигает.

4. Нажмите кнопку “Set”, авторулевой примет новое значения коэффициента. Если кнопка “Set” не будет нажата в течение 15 секунд, в системе сохранится старое значение коэффициента.

Чтобы заново использовать скорость по лагу:

1. Нажимайте кнопки выбора $\uparrow$ или $\downarrow$ до тех пор, пока не высветится панель настроечной функции “Speed”. Слова “Set Course” (заданный курс) погаснут. В окне отобразится последнее значение скорости, установленное вручную, с буквой "Н" перед ним.

2. С помощью вращающейся рукоятки установите значение 0.0 в окне панели и затем поверните слегка влево до появления в окне "L".

3. При нажатии кнопки “Set” система принимает ввод параметра скорости по лагу.

3. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЗАНЯТИЯ

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по теме «принцип работы авторулевого» и «настройка авторулевого». Проводится выборочный опрос обучающихся.

2. Брифинг. Преподаватель объясняет цели и ставит задачи на занятие, используя мультимедиа аппаратуру. Объясняются критерии правильного выполнения упражнения и система штрафных баллов, реализованная с помощью АСОК тренажера.

3. Демонстрация преподавателем процедуры настройки авторулевого (выполняется на главном мостике).

4. Запуск упражнения (например, сценарий ПЗ № 3) на главном мостике и демонстрация его выполнения преподавателем с подробными комментариями и объяснениями. Во время упражнения преподаватель изменяет настройки авторулевого и показывает их влияние на поведение судна при работе авторулевого в автоматическом режиме (heading/track).

5. Самостоятельное выполнение упражнения (тот же сценарий) обучающимися. Работа проходит в малых группах (до 3 человек) в виде ролевой игры. При этом один член команды выполняет роль условного капитана, другой – вахтенного помощника, третий – рулевого. Через определенное время происходит изменение ролей. Вахтенный помощник отдает команды рулевому. Капитан контролирует процесс и вмешивается при необходимости.

5.1 Прохождение маршрута (1). Исследуется влияние настройки rudder limit. Следует пройти 3 путевые точки с настройкой rudder limit = 10; далее увеличить до 15; 20; 25. Посмотреть влияние на управляемость судна. Все остальные настройки по умолчанию.

5.2 Прохождение маршрута (2). Исследуется влияние настройки radius (радиус поворота). Следует пройти 3 путевые точки с настройкой radius = 0,5; далее уменьшать до 0,4; 0,3; 0,2. Посмотреть влияние на управляемость судна. Все остальные настройки по умолчанию.

5.3 Прохождение маршрута (3). Исследуется влияние настройки rudder (общая чувствительность ар). Следует пройти 3 путевые точки с настройкой rudder = empty; далее изменить до medium и loaded. Посмотреть влияние на управляемость судна. Все остальные настройки по умолчанию.

5.4 Прохождение маршрута (4). Выставляется режим волнения 5 баллов. Исследуется влияние настроек count.rudder (коэффициент одерживания ар) и yawing (фильтрация рыскания). Следует пройти 2 путевые точки с настройкой count.rudder = 0; далее изменить до 5 и пройти две точки, изменить до 10 и пройти две точки. Посмотреть влияние настройки на управляемость судна, угол зарыскивания и количество и амплитуду включений рулевой машины при удержании на прямом курсе. Все остальные настройки остаются по умолчанию. Вторую часть маршрута (точки 07-11) пройти со значением count.rudder по умолчанию и изменяемым значением коэффициента yawing (economy, medium, precise).

6. Подведение итогов занятия. Дебрифинг с разбором ошибок и выставлением оценок. При необходимости используется проигрывание лог-файлов.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните коэффициенты, которые входят в ПИД-закон управления курсом судна.
2. Как называется настройка авторулевого, регулирующая степень влияния пропорционального канала управления?
3. Как называется настройка авторулевого, регулирующая степень влияния дифференциального канала управления?
4. Регулируется ли влияние интегрального канала ПИД-регулятора авторулевого?
5. В каких случаях следует изменять настройку авторулевого “Rudder”?
6. В каких случаях следует изменять настройку авторулевого “Count.Rud.”?
7. Как скажется на управляемости судна изменение настройки “Rudder” до минимума? До максимума?
8. Как скажется на управляемости судна изменение настройки “Count.Rud.” до минимума? До максимума?
9. Что такое «зарыскивание судна»? Как его устранить?
10. Балкерное судно прибыло в порт в балласте, а вышло в полном грузу. Как следует перенастроить АР?
11. Балкерное судно прибыло в порт в полном грузу, а вышло в балласте. Как следует перенастроить АР?
12. Судно попало в область свежей погоды (волнение 5 баллов). Как следует перенастроить авторулевой?
13. Почему работающий дифференциальный канал авторулевого приводит к повышению амплитуды включений рулевой машины в условиях волнения?
14. Что такое «адаптивный авторулевой»?

15. Как реализована адаптация по скорости в авторулевом “NautoPilot D”?
16. Для чего и в каких случаях следует регулировать параметр авторулевого “Speed”?
17. Как оценить качество удержания авторулевым судна на курсе в условиях волнения?
18. От чего зависит качество удержания авторулевым судна на курсе в условиях волнения?
19. Как определить, что авторулевой уже не справляется с удержанием судна на заданном курсе?
20. Какое волнение считается самым сложным с точки зрения возможности удерживать судно на заданном курсе?
21. Какими настройками авторулевого можно изменять качество удержания судна на курсе в условиях волнения?
22. В каких пределах обычно можно поменять значение параметра “Rudder Limit”? Для чего его меняют
23. Поясните смысл настройки параметра “Yawing”? Зачем его следует регулировать?
24. Почему не следует устанавливать параметр “Yawing” в максимальное значение? К чему это приводит?
25. Почему не следует отключать параметр “Yawing”? К чему это может привести?

5. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Каретников В. В. Технические средства судовождения: учебник / В. В. Каретников. – СПб.: СПбГПУ, 2013. – 316 с.
2. Руководство по эксплуатации навигационного тренажера “Navi-Trainer Pro”.

Практическое ЗАНЯТИЕ № 5
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЕМ СУДНА С СИСТЕМАМИ ЭКНИС И ГНСС.
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА ПО ТРАЕКТОРИИ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Формируемые компетенции

Категория компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Естественно-научная и общетеchnическая инженерная области	ОПК-5. Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, обеспечивая выполнение требований информационной безопасности	ОПК-5.1. Знает основные информационные технологии и программные средства, которые применяются при решении задач профессиональной деятельности; ОПК-5.2. Умеет формулировать требования к программному обеспечению, необходимому пользователю; выполнять действия по загрузке изучаемых систем; применять полученные навыки работы с изучаемыми системами в работе с другими программами; применять основные информационные технологии и программные средства, которые используются при решении задач профессиональной деятельности; ОПК-5.3. Владеет навыками применения основных информационных технологий и программных средств, которые используются при решении задач профессиональной деятельности.
Профессиональная компетенция	ПК-5. Способен обеспечить безопасное плавание судна путем использования информации от навигационного оборудования и систем, облегчающих процесс принятия решений	ПК-5.2. Умеет оценивать навигационную информацию, получаемую из всех источников, включая радиолокатор и САРП, с целью принятия решений и выполнения команд для избежания столкновения и для управления безопасным плаванием судна; ПК-5.3. Знает взаимосвязь и оптимальное использование всех навигационных данных, имеющихся для осуществления плавания.

Объем: 2 или 4 академических часа.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде устного опроса по темам «Режимы работы авторулевого» и «Система управления курсом судна» – 5 мин.
2. Брифинг. Постановка целей и задач на занятие – 15 мин.
3. Демонстрация процедуры создания маршрута в ЭКНИС и ГНСС – 20 мин.
4. Демонстрация выполнения упражнения – 30 мин.
5. Самостоятельное выполнение упражнения обучающимися – 1 ч 40 мин.
6. Подведение итогов занятия. Дебрифинг – 10 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Навигационный тренажер типа “Navi-Trainer Pro 5000” или аналогичный (рисунок 5.1) с пультом (или его симулятором) цифрового авторулевого “Transas” (рисунок 5.2);
2. GPS-навигатор Furuno GP-90;
3. Руководство пользователя тренажера;
4. Мультимедиа проектор, экран, пластиковая или смарт-доска.



Рисунок 5.1 – Навигационный тренажер Navi-Trainer Pro 5000



Рисунок 5.2 – Пульт цифрового авторулевого “Transas”

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Общие сведения о системе управления движением по траектории

Система управления движением по траектории (Track Control System — TCS) в соединении с компасом, лагом и позиционным датчиком предназначена для проводки судна по линии заданного пути. Выбор маршрута движения не входит в задачу TCS. Он считается известным и задается в памяти системы координатами точек поворота (WP — way points). Им система присваивает порядковые номера, начальная точка маршрута считается нулевой или первой. Часть пути по локсодромии между двумя соседними WP называется прямолинейным отрезком маршрута; а направление движения по нему — курсом по отрезку маршрута (CUR — course under route). Отрезок маршрута, по которому в данный момент движется судно, и путевая точка, к которой оно следует, называют активными. Маршрут, кроме прямых отрезков, включает и заданные радиусом криволинейные участки поворотов с одного прямолинейного отрезка на другой.

При проводке судна по намеченной траектории TCS обязательно использует информацию о положении (с ГНСС-приемника), курсе (с компаса) и скорости (от лага или ГНСС-приемника) судна. Также может использоваться информация указателя скорости поворота (RoT), датчика параметров ветра, измерителя параметров качки и т.д.

TCS обычно имеет два режима автоматического управления:

- 1) Проводка судна по маршруту, определенному последовательностью путевых точек (режим “Track”).
- 2) «Way point steering» – предназначен для вывода судна в указанную точку по линии кратчайшего пути.

В режиме “Track” могут выделяться два подрежима вождения судна: «по линии маршрута» и «от WP к WP» (от точки поворота к точке поворота). В первом из них судно должно следовать, не отклоняясь от линии активного отрезка маршрута. Управление здесь сводится к нулю смещение с этой линии (cross track error). Поэтому этот подрежим обозначают также «ХТЕ». Во втором подрежиме (который иногда называют «Course to WP») при отклонении от активного отрезка судно не возвращается на него. Главной задачей считается движение к точке поворота, на которую направляется вектор скорости судна. Т.е. по существу это режим «Way point steering», последовательно применяемый после каждого поворота на новый отрезок маршрута. Подрежим вождения «по линии маршрута» обычно используют при движении в узкостях, по фарватерам, а подрежим «от WP к WP» – в открытом море и в акваториях, где опасности лежат достаточно далеко от маршрута.

Следует отметить, что TCS в авторулевом должна рассматриваться как вспомогательное оборудование, облегчающее вождение судна, но не освобождающее судоводителя от мер по обеспечению безопасности плавания и от ответственности. Не запрещается использовать TCS при сложных условиях плавания. Но при интенсивном движении, ограниченной видимости и всех других опасных навигационных обстоятельствах автоматическое вождение должно применяться только тогда, когда ручной режим может быть установ-

лен немедленно, и квалифицированный рулевой готов сразу стать на руль. Если в течение 30 с. это не может быть выполнено, то судно в стесненных водах должно управляться вручную.

Эффективность удержания на траектории зависит от превалирующих условий плавания, скорости судна, его водоизмещения и главное – состояния моря.

При подходе к точке поворота TCS подает тревожный сигнал и предупреждение индикацией не позже, чем за минуту перед перекладкой руля для выполнения поворота (время предупреждения обычно можно задавать). Система может осуществлять поворот после получения подтверждения штурмана (WP switching manual) или автоматически (WP switching auto).

TCS ведет непрерывный контроль проводки судна по маршруту. Она предоставляет вахтенному помощнику наименование маршрута и данные, характеризующие его прохождение: боковое смещение от линии пути (XTE), расстояние (Distance to goal DTG), пеленг (BRN) и расчетное время (TTG) движения до активной путевой точки, ожидаемое время прибытия в нее (ETA). Индицируются также курсы активного и следующего за ним отрезка маршрута.

2.2 Особенности управления траекторией в авторулевых “Transas” и “NautoPilot D” согласно руководству по эксплуатации

Маршрут задается координатами поворотных точек, которые транслируются в авторулевой с ECDIS или GPS-приемника. Этот маршрут может быть создан самими обучаемыми или взят из упражнения, подготовленного инструктором.

Режим TCS обеспечивает:

- Выход судна на заданный маршрут после нажатия кнопки “track control”;
- Компенсацию бокового отклонения судна от прямолинейных участков маршрута. При наличии возмущающих факторов от ветра, течения и волнения авторулевой обеспечивает среднее нулевое отклонение судна от маршрута. Это возможно при условии правильной настройки регулировочных коэффициентов авторулевого и возможностей управляемости судна при очень больших возмущениях;
- Автоматический плавный поворот на следующий прямолинейный участок маршрута с минимальным перерегулированием и с заданным ограничением максимального угла перекладки руля.

Включение режима возможно при одновременном выполнении следующих условий:

- Боковое отклонение судна от ближайшего участка маршрута составляет не более 0,3 мили;
- Отклонение по курсу на данном участке не более 30°.

При выполнении этих условий автоматически определяется ближайший участок маршрута и осуществляется вывод судна на него. При невыполнении этих условий срабатывает сигнал тревоги, предупреждающий о невозможности запуска режима TCS.

После прохождения судном последней путевой точки маршрута авторулевой автоматически переключается в режим “course control”, о чем судоводитель предупреждается сигнализацией.

3. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЗАНЯТИЯ

RoT, CID, AMS, IBS, MFD, OMBO, VDR, AIS, CCTV

1. Проверка остаточных знаний по темам «режимы работы авторулевого», «система управления курсом судна». Проводится выборочный опрос обучающихся.

2. Брифинг. Преподаватель объясняет цели и ставит задачи на занятие, используя мультимедиа аппаратуру. Отдельно объясняются критерии правильного выполнения упражнения и система штрафных баллов, реализованная с помощью автоматизированной системы оценки компетенции (асок) тренажера.

3. Демонстрация преподавателем процедуры создания, переименования, сохранения, активации, выгрузки и удаления маршрута в ЭКНИС Navi-Sailor 4000.

4. Демонстрация преподавателем процедуры создания, сохранения и активации маршрута в GPS-приемнике Furuno GP-series.

5. Запуск упражнения на главном мостике и демонстрация его выполнения преподавателем с подробными комментариями и объяснениями. Демонстрируется также система штрафов.

6. Самостоятельное выполнение упражнений обучающимися согласно предлагаемым сценариям. Работа проходит в малых группах (до 3 человек) в виде ролевой игры. При этом один член команды выполняет роль условного капитана, другой – вахтенного помощника, третий – рулевого. Через определенное время происходит изменение ролей. Вахтенный помощник отдает команды рулевому. Капитан контролирует процесс и вмешивается при необходимости.

7. Подведение итогов занятия. Дебрифинг с разбором ошибок и выставлением оценок. При необходимости используется проигрывание лог-файлов.

4. ПРИМЕР СЦЕНАРИЯ УПРАЖНЕНИЯ

Взаимодействие авторулевого и ECDIS/GPS. Режим Track Control

Подготовка маршрута в ECDIS

- 1) Перейти в режим Advanced Planning на ECDIS, выбрать NEW.
- 2) С помощью курсора создать маршрут из 11 точек (с 0 по 10).
- 3) Перейти в табличный режим редактирования маршрута и уточнить координаты всех точек поворота (по информации с GPS, меню WPT RTE, маршрут под номером 01). Проверить и при необходимости установить значение XTD = 0,1 NM.
- 4) Сохранить маршрут под своей фамилией.
- 5) Активировать маршрут, перейдя в панель Monitoring.
- 6) Включить кольцо дальности VRM (0,3 мили).
- 7) Перейти в режим боковой панели Route.

Настройка авторулевого

8) Установить на авторулевом радиус поворота (например, 0,24 NM) и лимит по углу перекладки руля (например, 15°).

9) Дополнительно выставить значение алармов Off Course Limit (разница между курсом GYRO и CUR (курс по отрезку маршрута), например, 15°) и Dev. Limit (разница показаний между Gyro и COG, например 10°).

10) Выставить значения настроек Rudder, Yawing, Count.Rudder (например, на режим полной загрузки и точного удержания на маршруте).

11) Перейти в режим Track.

12) На коннинг-дисплее в меню NavAids – GPS активировать режим Use ECDIS Route.

Выполнение упражнения

13) Начать движение в сторону начальной путевой точки (положение WP0 отмечено знаком специального назначения – желтым крестом).

14) Как только судно зайдет на маршрут, включить авторулевой, убедиться, что трэк принят (нет алармов).

15) Пройти первую путевую точку WP1 в автоматическом режиме, контролируя поведение судна.

16) После поворота, как только XTD станет равным нулю, перейти в ручной режим и обойти препятствие.

17) Пройти WP2 и WP3 в автоматическом режиме (иначе штраф). Для WP3 изменить настройку Rudder Limit.

18) После поворота у точки WP3 выровняться по отрезку маршрута, разойтись с препятствием.

19) Точку WP4 пройти в режиме NFU, далее перейти на Follow-Up и не включать AP до конца маршрута (иначе штраф).

20) Пройти по маршруту, попадая во все путевые точки, и зайти в коридор, закончив упражнение.

21) При заходе в коридор до остановки упражнения удалить маршрут из ECDIS.

Штрафные баллы при движении:

- Выход за коридор XTE 1 кб – 5 баллов;
- Непопадание в путевую точку – 10 баллов;
- Выход в запретную зону – 10 баллов;
- Переход на ручной/автоматический режим (где не надо) – от 10 до 20 баллов
- Перекладка руля на угол более 20 – 10 баллов

Дополнительное задание повышенной сложности (факультатив)

1) Задать маршрут 01 в GPS в качестве активного.

2) Установить в GPS алармы XTE = 0,1 NM и Arrival = 0,3 NM (кнопка Menu/Esc – Alarm Settings).

3) Отцентрировать маршрут, выбрать подходящий масштаб на экране GPS Plotter2.

4) На коннинг-дисплее в меню NavAids – GPS активировать режим Use GPS Route.

5) Начать движение и действовать в соответствии с пп. 13–20 предыдущего упражнения.

6) ECDIS не использовать, ориентироваться только по GPS, закончить маршрут, приведя судно в коридор.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначена система TCS?
2. В каких режимах может работать система TCS?
3. Когда целесообразно использовать систему TCS в авторулевом?

4. Как задается маршрут в системе TCS?
5. Что является регулируемым параметром в системе TCS?
6. Расшифруйте аббревиатуры TCS, XTE, CUR, DTG, TTG, ETA, RoT, ECDIS.
7. Какие условия следует соблюсти для активации режима “Track Control”?
8. Что происходит при отклонении судна от заданной траектории на величину, большую допустимой?
9. Как выбрать режим автоматического поворота в системе TCS? Какие режимы предусмотрены?
10. Является ли система TCS обязательной к установке на морские суда?

6. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Каретников В. В. Технические средства судовождения: учебник / яЗВ. В. Каретников. – СПб. : СПбГПУ, 2013. – 316 с.
2. Руководство по эксплуатации навигационного тренажера “Navi-Trainer Pro”.

Практическое занятие № 6
ИЗУЧЕНИЕ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА
И ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ПЕРЕХОДА.
РАЗБОР АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА И ВЫБОРА
ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ПЕРЕХОДА, ОСНОВАННОГО
НА МЕТОДЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

Цель занятия: приобретение компетенций согласно таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Формируемые компетенции

Категория компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Естественно-научная и общетехническая инженерная области	ОПК-5. Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, обеспечивая выполнение требований информационной безопасности	ОПК-5.1. Знает основные информационные технологии и программные средства, которые применяются при решении задач профессиональной деятельности; ОПК-5.2. Умеет формулировать требования к программному обеспечению, необходимому пользователю; выполнять действия по загрузке изучаемых систем; применять полученные навыки работы с изучаемыми системами в работе с другими программами; применять основные информационные технологии и программные средства, которые используются при решении задач профессиональной деятельности
Профессиональная компетенция	ПК-5. Способен обеспечить безопасное плавание судна путем использования информации от навигационного оборудования и систем, облегчающих процесс принятия решений	ПК-5.3. Знает взаимосвязь и оптимальное использование всех навигационных данных, имеющихся для осуществления плавания.

Объем: 2 или 4 академических часа.

Краткое описание

По теме данного ПЗ студенты выполняют самостоятельную домашнюю работу «Выбор оптимального маршрута движения судна методом динамического программирования». Суть работы заключается в нахождении оптимального маршрута перехода с точки зрения определенного критерия (экономии топлива, экономии времени, минимального волнения и др.). Основное построение производится на двух копиях навигационной карты с использованием метода динамического программирования по индивидуальным вариантам.

Содержание:

1. Текущий контроль знаний студентов в виде краткого устного опроса по темам дисциплины «Гидрометеорологическое обеспечение судоходства», касающимся морского волнения и состояния погоды – 10 мин.
2. Разбор алгоритма автоматического поиска и выбора оптимального маршрута перехода, основанного на методе динамического программирования – 40 мин.
3. Выдача вариантов заданий на расчетно-графическую работу – 20 мин.
4. Характеристика расчетно-графической работы – 15 мин.
5. Разбор примера выполнения построения оптимального маршрута перехода – 80 мин (*при условии 4-х часового практического занятия*).
6. Подведение итогов занятия – 5 мин.

Необходимое оборудование и материалы:

1. Мультимедиа проектор.
2. Пластиковая или смарт-доска.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

В настоящее время высококвалифицированное планирование переходов с учетом прогнозов погоды и мореходных свойств конкретного судна является актуальной и важной задачей, призванной повысить безопасность, надежность и экономичность эксплуатации морского флота. Благодаря появлению новых вычислительных средств, современные бортовые системы оценки и оптимизации мореходности (Vessel Seaworthiness Assessment and Optimization Systems) [1], дополненные модулем планирования и выбора оптимального маршрута (Route Planning Systems, Voyage Management Systems), позволяют решать такие задачи, обеспечивая поддержку принятия решений штурмана в вопросах планирования переходов. Подобные системы уже выпускаются ведущими мировыми компаниями-производителями навигационной аппаратуры, такими как Kongsberg NorControl IT, Ocean Systems, Sperry Marine и др.

В современном судоходстве планированию и проработке рейсов уделяется первостепенное внимание, так как от качества выполнения этих задач существенно зависят экономические показатели работы и безопасность судов. Под планом перехода обычно понимается график, определяющий в пространстве и во времени предстоящий процесс следования судна от причала порта отхода до причала пункта назначения. Этим планом устанавливается маршрут движения, скорость хода на его участках, время отхода, моменты прибытия в поворотные точки и в конечный пункт. Важнейшей задачей планирования перехода, несомненно, является выбор подходящего маршрута следования к месту назначения. Безопасный путь, с наибольшей полнотой соответствующий целям рейса, называют по-разному – наилучшим, наивыгоднейшим, оптимальным.

При составлении плана перехода используются данные о цели рейса, включая требования к ее достижению, сведения о судне как объекте управления, информация о внешних условиях на пути судна. Чтобы план был эффективным, детально прорабатываются маршруты и режимы движения, навига-

онно-гидрографические и гидрометеорологические условия на линии пути, использование ресурсов и многие другие вопросы.

Основным средством совершенствования планов перехода являются прогнозы будущего состояния внешней среды и мореходности судна в районах плавания. Для выбора наивыгоднейшего пути необходимы прогностические данные о ветре, волнении, поверхностных течениях, районах плохой видимости, зонах обледенения, сведения о ледовой обстановке, о наличии айсбергов, и т.д., а также модели, с достаточной полнотой и точностью отражающие реакцию судна на внешние воздействия.

Постановка задачи составления плана перехода может быть различной. Например, если маршрут перехода, время отхода из порта погрузки и прихода в конечный пункт назначены, то при планировании следует установить режимы хода на участках пути и моменты прихода в поворотные точки. Когда заданы моменты выхода в рейс и прихода в порт разгрузки, а путь движения не назначен, то при планировании необходимо выбрать маршрут следования, режимы хода на его участках и рассчитать моменты прихода в поворотные точки.

Оптимальный план перехода – это график следования к порту назначения, соответствующий экстремуму подходящего критерия эффективности. Такой критерий называют также критерием качества и критерием оптимальности. Он должен быть количественным, чтобы численно, объективно сопоставлять возможные варианты перехода и выбирать из них наилучший. Т.е. критерий эффективности должен служить мерой степени соответствия плана основным целям судна в предстоящем рейсе. К выполнению перехода предъявляются требования безопасности судна, сохранности груза, соблюдение расписания, благоприятных условий для работы людей и технических средств, экономии энергоносителей и расходных материалов и т.д. Если пытаться все эти требования удовлетворить полностью, то из-за противоречивости ряда из них процедура выбора оптимального плана становится неопределяемой. Поэтому в качестве критерия эффективности выбирается показатель, соответствующий основной цели предстоящего рейса. Другие требования к его выполнению учитываются путем введения определенных ограничений на план перехода. Необходимо отметить, что в разных рейсах одного и того же судна его состояние, основные задачи и показатели эффективной работы могут отличаться, поэтому различными могут быть и критерии оптимальности.

Экономические критерии. Рассматривая основные цели переходов судов, необходимо отметить, что на первом месте в торговом судоходстве стоят вопросы экономической выгоды. Поэтому критерий оптимальности плана должен быть мерой экономичности предстоящего перехода. Экономичность доставки груза из порта отхода в пункт назначения оценивается величиной эксплуатационных расходов судна. Выбор маршрута перехода и режимов движения на его участках влияет на следующие статьи этих затрат:

- топливо, смазочное масло;
- содержание экипажа (заработная плата, питание и др.);
- расходы на поддержание судна, его механизмов в рабочем состоянии, на ремонт.

Последний вид затрат при оценке планов переходов обычно не принимается во внимание, ввиду отсутствия достаточно точной информации о количественном влиянии на них выбора маршрута и режимов хода.

Если срок прибытия судна в пункт назначения строго не определен, то в качестве критерия эффективности плана обычно принимается длительность перехода по времени. Это обусловлено тем, что основные расходы судна (на топливо и смазочное масло, на содержание экипажа) практически пропорциональны времени. В результате, чем меньше времени судно затратит на переход, тем он экономичней. Применяется в этом случае и комбинированный критерий, предусматривающий минимизацию длительности перехода и расхода топлива с определенным соотношением между ними, учитываемым с помощью весового множителя.

Когда срок отхода и прихода заданы (как, например, в линейном судоходстве), то для транспортных судов критерием эффективности плана является количество затрачиваемого на переход топлива. Это объясняется тем, что здесь затраты на содержание экипажа одинаковы для всех вариантов плана. Стоимость же топлива является преобладающей статьей эксплуатационных расходов судна. У некоторых судов она достигает 80% этих затрат. Топливо на судне используется для работы главной движительной установки и для вспомогательных целей (навигационных, хозяйственных и других). Потребление топлива для вспомогательных целей обычно не зависит от выбираемого маршрута и режимов хода на его участках. Таким образом, основным показателем оптимальности плана перехода в рассматриваемом случае является потребление топлива и смазочного масла главной движительной установкой. Стоимость бункерного топлива в настоящее время превысила 300 долларов за тонну. Крупнотоннажные суда с мощной машиной расходуют за сутки на ходу 20 и более тонн топлива. Нетрудно подсчитать, что при таких обстоятельствах уменьшение потребления топлива даже на один процент оборачивается за год существенной экономией финансовых средств.

Меры, принимаемые на современном этапе для повышения эффективности грузопотоков в крупнейших портах мира (Шанхай, Сингапур, Роттердам, Пусан и др.), включают строгое определение моментов перевалки грузов. Это приводит к тому, что задержка с прибытием судна в порт ведет к существенным потерям времени, связанных с простоем в ожидании новой очереди обслуживания в порту. Таким образом, для грузовых судов критерий количества затрачиваемого на переход топлива становится преобладающим.

Другие виды критериев. Для пассажирских судов, когда задано их расписание движения между портами, критерием эффективности обычно выступает величина углов и ускорений при качке, определяющая комфортность условий для пассажиров.

Для грузовых судов перевозка грузов является эффективной, только при отсутствии повреждений судну и грузу в процессе рейса, и, тем более, аварийных происшествий и аварий. Обеспечение безопасности – важнейшее требование к составлению планов переходов. Для возможности численного учета, его выражают через операционные ограничения судна, которыми могут быть:

- предельное значение высот волн на переходе;

- граничные значения для параметров качки;
- лимитирующие значения для элементов вертикального движения оконечностей судна;
- границы для вероятности слеминга (заливания, разгона гребного винта);
- пределы напряжений в уязвимых элементах корпуса;
- другие ограничения и комбинации вышеприведенных границ.

С учетом основных операционных ограничений условия эффективности планов перехода, например, могут формулироваться так:

- для балкеров и танкеров – минимальное время рейса, на маршруте которого нагрузки на корпусе будут в допустимых пределах;
- для пассажирских судов – комфортные условия для пассажиров при соблюдении расписания. Здесь комфортность определяется границами параметров качки, выше которых развивается морская болезнь;
- для контейнеровозов (а также и для других грузовых судов) – наименьший расход топлива при заданном времени прибытия в пункт назначения без повреждений судна и груза. Здесь отсутствие опасности судну и грузу может определяться границами параметров качки, вероятностью мореходных опасностей, пределами нагрузок на корпусе и в креплениях грузов комбинацией ограничений.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ НА БОРТУ СУДНА

За два последних десятилетия появились предпосылки для эффективного планирования переходов с учетом прогнозов погоды на борту судна. Разработано новое поколение моделей для предсказания погоды, которые; позволили на береговых гидрометеоцентрах с помощью суперкомпьютеров обеспечивать высокую точность в прогнозировании элементов погоды на весь Мировой океан (обычно до 10, 15-ти суток вперед через интервал 12 часов). Здесь достаточно отметить, что по новым спектральным моделям волнения высота волн на трое суток вперед предсказывается с погрешностью, меньшей одного метра. Обеспечение требуемой для судовождения и других приложений точности прогнозов ветра и волнения – это проблема береговых гидрометеоцентров. Формирование таких прогнозов не входит в задачу судовых систем.

Высококачественные прогностические данные для целей судовождения передают ведущие метеоцентры мира: European Center for medium-range weather forecast, UK's MET Office, Japan's JMA, the US National Center for environmental prediction, US Navy's Fleet numerical oceanographic Center, прогностический центр Oceanweather Inc. (США) и ряд других. На современном этапе гидрометеоцентры предоставляют параметры (высота, период, направление) как смешанного волнения, так и двух его основных составляющих (ветровая волна и зыбь).

Развитие цифровой компьютерной связи сделало возможным передачу с береговых станций в память бортовых компьютеров прогностической информации о погоде на весь Мировой океан. Сеточные данные о полях ветра, волнения, поверхностных течений и других элементов представляются рядом гидрометеоцентров с достаточным разрешением по широте и долготе ($0,5^{\circ}$ - $5-1,5^{\circ}$). Для целей выбора пути достаточно плотными считаются уже двухградусные

сеточные данные. Когда разрешение ниже, в больших квадратах сетки может оказаться «провал» максимальных значений гидрометеорологических данных, что повлияет на точность расчетов.

На основе успехов в гидродинамике созданы эффективные математические методы, позволяющие достаточно точно по прогнозируемым значениям ветра и волнения с учетом глубины под килем предсказать реакцию судна (параметры всех видов качки, напряжения корпуса, увеличение сопротивления движению и падение скорости, вероятность резонанса, слеминга, заливания и т.д.). Появилась возможность достаточно точно предвычислять расход топлива с учетом многих факторов (вида двигателя, режима хода, ветра, волнения, мелководья, температуры воздуха и воды).

Отмеченные выше достижения послужили толчком к разработкам новых методов и компьютерных программ для облегчения капитану и его помощникам нахождения безопасного и экономически выгодного плана следования судна к пункту назначения.

Задачи планирования переходов характерны тем, что требуется либо выбрать маршрут из множества известных альтернативных траекторий следования, либо проложить его в некоей рекомендованной области плавания (см. рисунок 1). В последнем случае рекомендованная область разбивается на районы (зоны). Для эффективного решения задачи выбора маршрута сетка разбиения должна быть как можно более плотной. При этом каждая зона должна быть исследована на предмет условий плавания в ней и значения критерия оптимальности. Очевидно, что при большом количестве зон подобные расчеты требуют серьезных вычислительных затрат. Современные ЭВМ способны качественно решать подобные задачи.

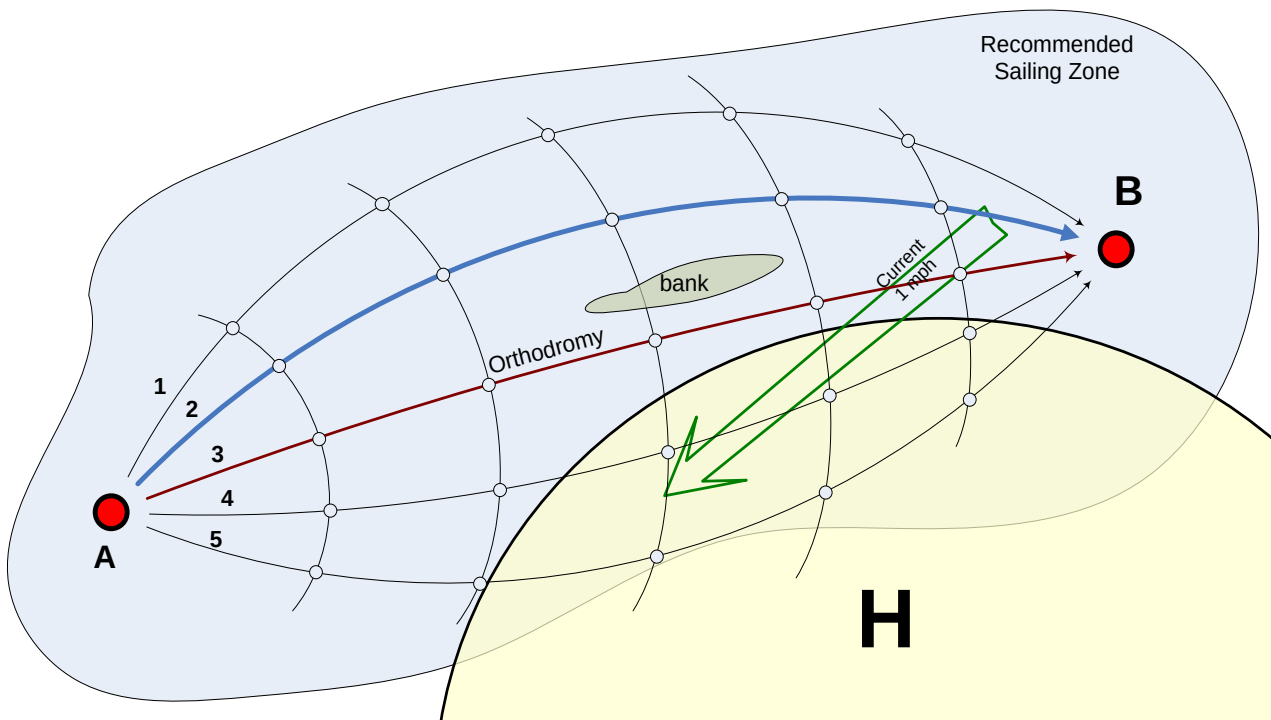


Рисунок 6.1 – Разбиение области плавания на зоны

Пусть необходимо совершить экономически эффективный переход из пункта отправления А в пункт назначения В (рисунок 6.1). На карте указана рекомендованная область плавания, в пределах которой мы можем делать предварительную прокладку маршрута. Вариантов траекторий может быть сколько угодно много, на карте указаны пять основных возможных направлений, среднее из которых (№ 3) представляет собой ортодромию.

Планирование осложняется тем, что часть рекомендованной зоны плавания находится в области пониженного давления (циклона) с повышенной балльностью моря и значительными скоростями ветра в ней. Также на пути имеется опасная для судовождения банка, вокруг которой существенно сказывается влияние мелководья. Кроме того, осуществляя прокладку, следует учитывать встречное течение со скоростью 1 миль/час, показанное на карте стрелкой.

Наиболее вероятным с точки зрения максимальной эффективности представляется маршрут 2. Однако для более точного выбора маршрута требуется подробный анализ области плавания. Для этого область плавания разбивается на зоны линиями, пересекающими траектории движения судна под прямым углом. Такие линии называются изостадиями.

Для каждой зоны с учетом метеосводок, навигационной обстановки и имеющейся в компьютере аналитической модели судна система рассчитывает параметры мореходности (сопротивление движению судна, параметры работы ГДУ, максимальные углы качки, вероятности слеминга, заливания и т.д.). На основании параметров мореходности рассчитывается средняя скорость движения судна в данной зоне и расход топлива в ней. Таким образом, получаем массив данных по зонам плавания, позволяющий приступить к поиску оптимальной траектории.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Известно много методов, с помощью которых можно решать задачи выбора оптимальной траектории. Среди них можно выделить методы перебора, методы изохрон, вариационные методы, оптимизация с помощью генетического алгоритма и др. Одним из наиболее эффективных для этой цели показал себя метод динамического программирования (ДП), предложенный в 1950 году Р. Беллманом.

Идея ДП состоит в разбиении задачи на несколько независимых подзадач, решении каждой из них, а затем вычислении исходного результата.

При использовании ДП задача поиска оптимальной траектории решается в обратном времени (т.е. от конечной точки к начальной) для каждой узловой точки области.

Рассмотрим решение задачи выбора оптимального маршрута с точки зрения экономии топлива, как указано в пункте 3. Крупнотоннажному судну необходимо попасть из точки А в точку В, израсходовав минимальное количество топлива.

Для удобства построения допустимую область плавания будем представлять не в виде дуг окружностей, а в виде прямоугольной области, разбитой равномерно на $6 \times 6 = 36$ зон (квадратов). Каждый квадрат в свою очередь разбит по диагонали (рисунок 6.2).

Анализируя навигационную обстановку предстоящего перехода, отмечаем, что часть области плавания будет находиться в области пониженного давления (циклона) с повышенной балльностью моря и ветром. В области плавания имеется опасная отмель (банка), вблизи которой будет сказываться влияние мелководья. Кроме того, на момент начала рейса было получено сообщение NavTex о том, что в районе нашего предстоящего перехода будут проводиться военные учения. Вокруг района учений будет установлено ограничение по скорости движения. Район учений рекомендовано обходить с запасом. Также отмечаем наличие течения в северной части области плавания, как указано на карте стрелкой.

Возможны три основных варианта маршрута следования (рисунок 2). Кратчайшим представляется центральный маршрут, однако, следуя этим маршрутом, судно будет частично испытывать влияние мелководья, проходя вблизи банки, и может попасть в зону циклона.

Движение судна может осуществляться по сторонам и диагоналям квадратов только вперед (т.е. вверх и вправо)! Движение назад (влево и вниз) не является оптимальным изначально и рассматриваться не будет!

Исходными данными для нас являются предвычисленные системой планирования рейса значения расхода топлива в каждой зоне с учетом курса судна.

При вычислении расхода топлива используются следующие соображения:

- плавание в условиях волнения требует больших затрат топлива, поскольку снижается скорость хода и увеличивается сопротивление движению судна;
- плавание в условиях сильных ветровых нагрузок приводит к большему расходу топлива из-за необходимости компенсировать накапливающийся дрейф;
- плавание против течения требует больших затрат топлива;
- плавание в условиях мелководья приводит к потере скорости судна и возрастанию расхода топлива;
- плавание в районах с ограничением скорости приводит к возрастанию расхода топлива, поскольку судно идет в неоптимальном режиме работы ГДУ;
- плавание в ручном режиме управления курсом судна, как правило, требует больших затрат топлива;
- при плавании в благоприятных погодных условиях в основном режиме ГДУ в режиме стабилизации курса расход топлива в целом равномерен.

На рисунке 6.3 представлены исходные данные о предвычисленном расходе топлива в тоннах по зонам плавания. Для наглядности пояснения принципа ДП данные даны округленно с довольно большим разбросом. Фактически в реальных условиях разброс будет меньше.

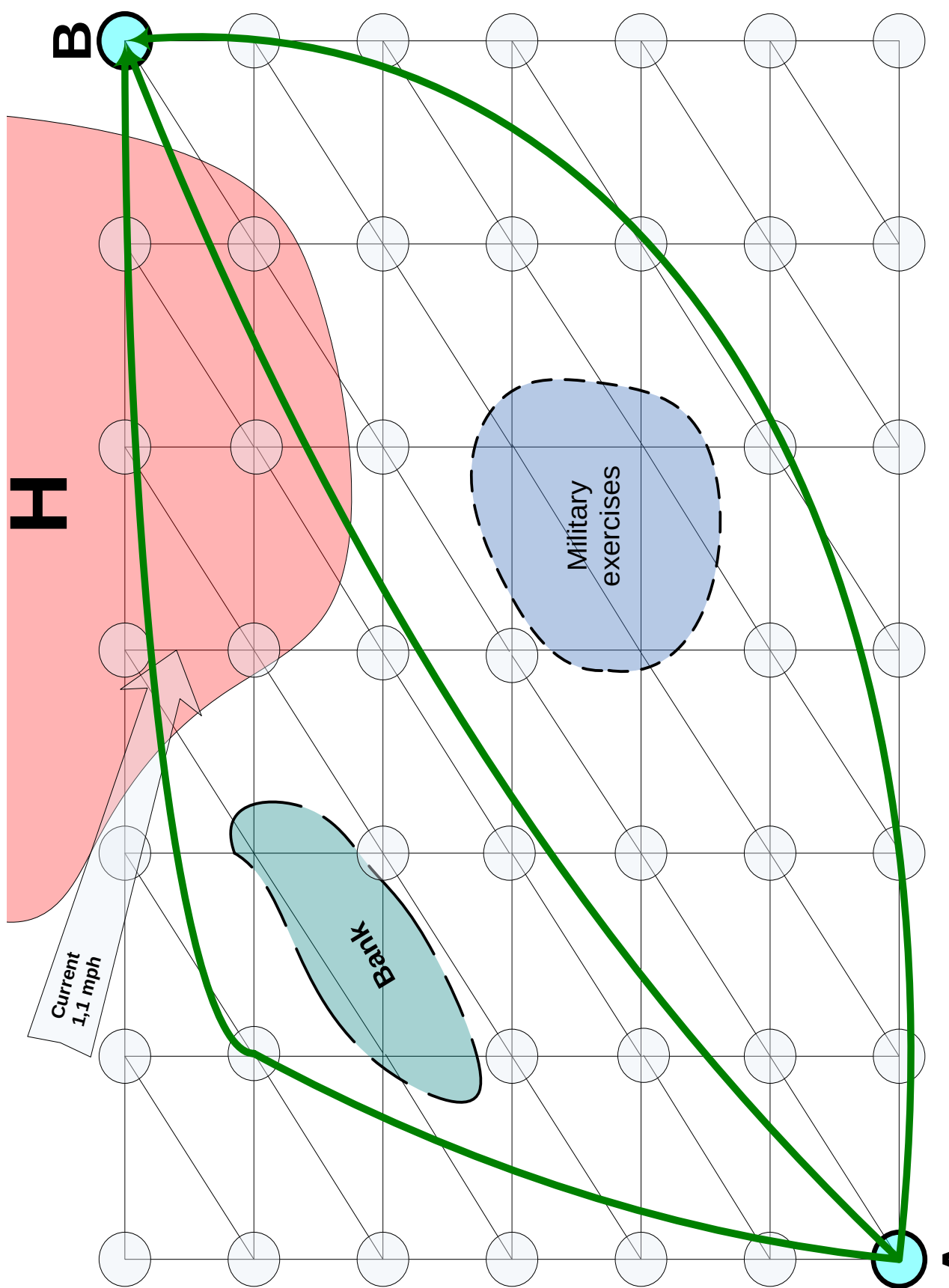


Рисунок 6.2 – Исходная область плавания и три возможных маршрута

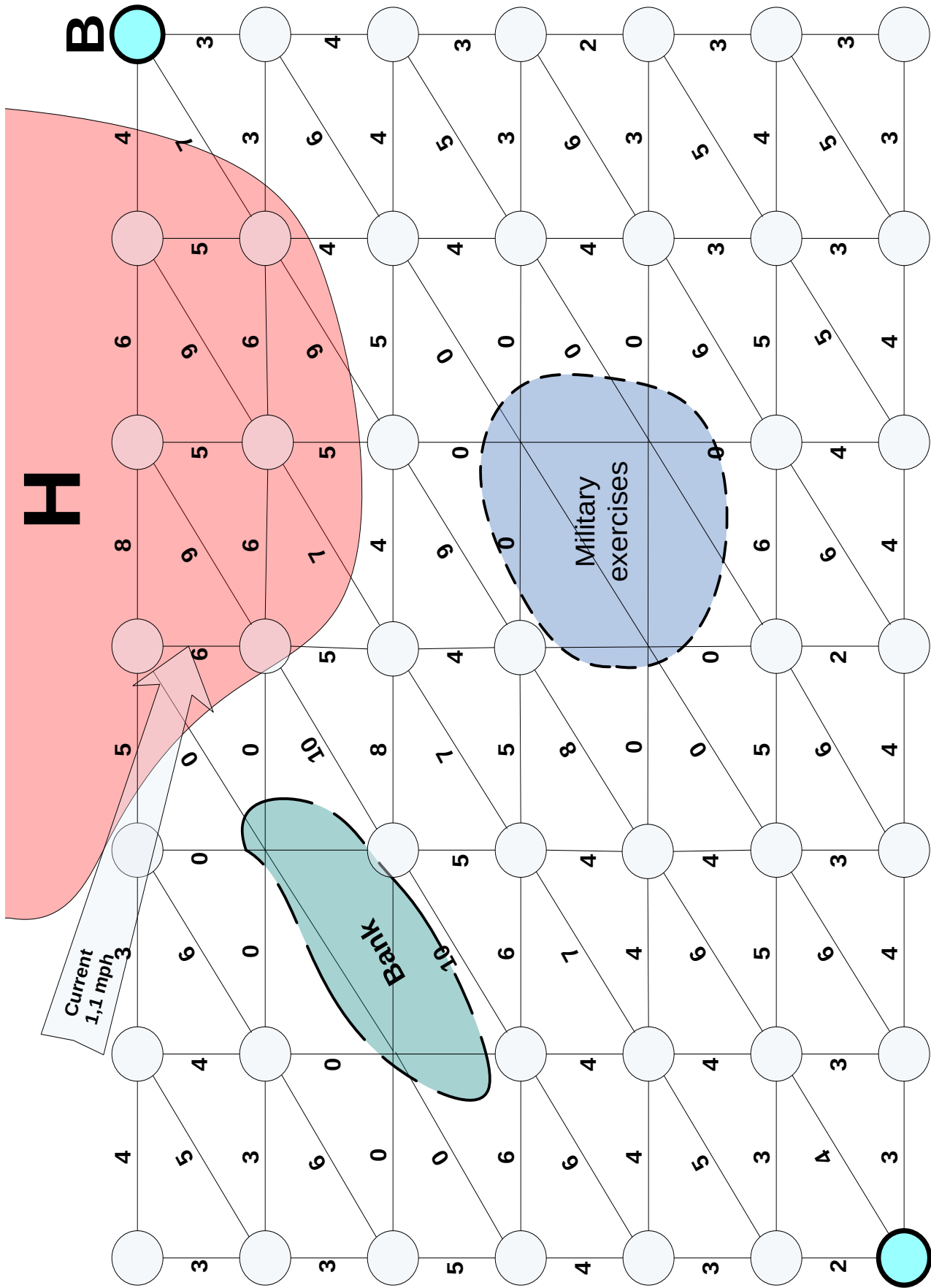


Рисунок 6.3 – Предвычисленные данные о расходе топлива по зонам

Из рисунка видно, что плавание в районе циклона, вблизи отмели и районе с ограничением скорости требует больших затрат топлива (в среднем 6–10 т в зависимости от размера зоны). В других районах расход топлива меньше и в зависимости от размера зоны составляет 2–5 т. Стоит отметить, что представленная прямоугольная сетка не отражает в явном виде масштаб, поэтому в общем случае размеры зон могут отличаться.

Поиск оптимальной траектории начинаем из точки В. В узлах сетки будем записывать минимальное количество топлива, необходимое, чтобы попасть в точку В. Оптимальную траекторию будем отмечать стрелкой.

Так, чтобы попасть из точки С в точку В (рисунок 6.4), движение возможно только вправо. На это требуется 4 единицы топлива. Поэтому в точке С записываем минимальный расход 4. Маршрут СВ отмечаем стрелкой.

Чтобы попасть из точки D в точку В, движение возможно только вверх. На это требуется 3 единицы топлива. Поэтому в точке D записываем минимальный расход 3. Маршрут DV отмечаем стрелкой.

Чтобы попасть из точки F в точку В, возможны три варианта: движение вправо и вверх – FDB; движение вверх и вправо – FCB; движение по диагонали – FB. Движение по маршруту FDB потребует $3+3=6$ единиц топлива; по маршруту FCB потребует $5+4=9$ единиц топлива; по маршруту FB – 7 единиц топлива. Очевидно, что оптимальным в данном случае является маршрут FDB. В точке F записываем минимальный расход топлива до точки В – 6 единиц. FD отмечаем стрелкой.

Из точки E в точку В попасть можно, двигаясь только вправо по маршруту ECB. На это потребуется $4+6=10$ единиц топлива. В точке E записываем значение 10 и маршрут EC отмечаем стрелкой.

Из точки G двигаться можно в трех направлениях: GE (расход топлива $5+10=15$), GF (расход топлива $6+6=12$) и GC (расход топлива $4+9=13$). Наивыгоднейшим является направление GF. Отмечаем его стрелкой, а в точке G ставим минимальный расход до точки В – 12.

Проводим аналогичные расчеты для всех узловых точек сетки. Если узловая точка находится в непроходимой зоне, то ее не рассчитываем. Если отрезок маршрута находится в непроходимой зоне, то его обозначаем 0. В итоге получим значения расхода топлива до точки В для всех узловых точек, включая начальную точку А.

Двигаясь из точки А (или из любой другой узловой точки) по стрелкам, мы приходим в точку В по оптимальному маршруту!

Рассчитав по исходным данным (рисунок 6.3) все узловые точки, получили оптимальную траекторию движения из А в В (рисунок 6.4), обозначенную красными стрелками из точки А вправо, обходя зону военных учений с юга (снизу) и далее вверх в точку В.

Возможен вариант, когда из одной точки оптимальными будут несколько путей (точка Z). В этом случае все они обозначаются стрелками. При выборе маршрута здесь следует руководствоваться другими критериями (например, минимизация времени перехода, выбор наименее опасного маршрута и др.)

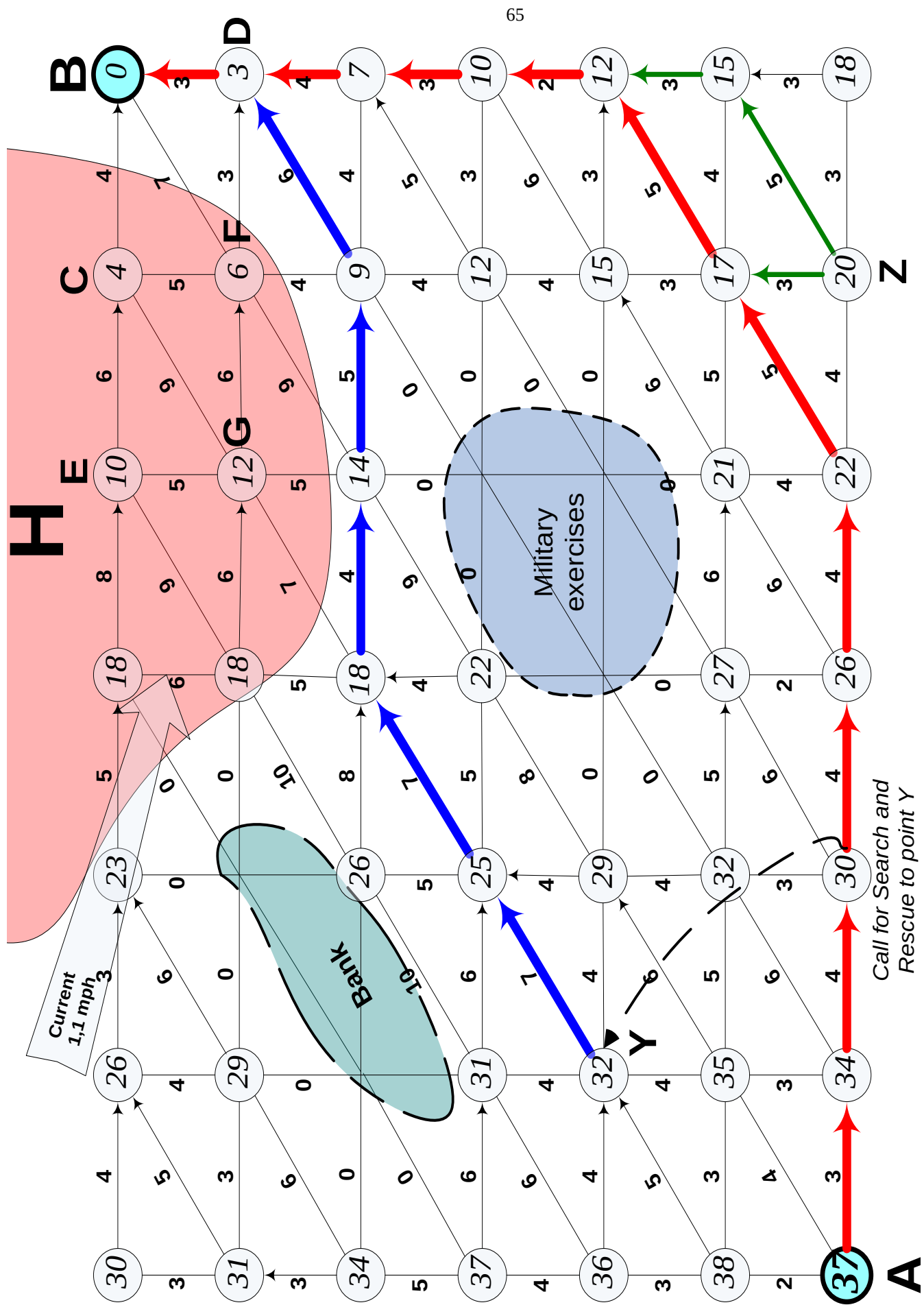


Рисунок 6.4 – Графическое решение задачи поиска оптимальной траектории

Достоинством метода ДП является возможность расчета оптимальной траектории из любой точки области плавания. Представим ситуацию, когда во время следования по маршруту мы приняли участие в спасательных операциях, проводимых в точке У, отклонившись при этом от оптимального маршрута, как это показано пунктирной линией. Из точки У оптимальным маршрутом следования в точку В является маршрут, отмеченный синими стрелками. Аналогично можно рассмотреть любую точку заданной области.

Бортовая система планирования и оптимизации рейса судна позволяет в реальном времени корректировать маршруты следования, основываясь на поступающих метеосводках и навигационных сообщениях. Некоторую информацию при этом требуется вводить вручную.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Подобрать самостоятельно (или получить от преподавателя в соответствии с вариантом) навигационную карту определенного района плавания, содержащего естественные препятствия (острова, архипелаги, опасные отмели, постоянные районы рыболовного промысла и др.), прохождение которого возможно несколькими маршрутами. Определить пункт (район) отправления и пункт (район) назначения. В качестве примеров можно рекомендовать Средиземноморский бассейн, Карибский бассейн, Океанию, Японское море и др. Если район не содержит достаточное количество естественных препятствий, необходимо самостоятельно нанести на карту временные препятствия, которые судно может встретить на пути следования в пункт назначения: районы военных учений, места проведения изыскательских и научно-исследовательских работ, районы минной опасности, районы ограничения скорости и т.д.

2. Дать краткое описание района плавания, привести характеристики навигационных опасностей, обозначить возможные пути следования (на первой копии карты), указав их преимущества и недостатки.

3. Описать ожидаемые погодные условия в районе плавания, отметить цветом районы плохой погоды и сильного волнения.

4. Выбрать тип судна (танкер, балкер, контейнеровоз, многоцелевое, пассажирское, РО-РО), тип и количество груза, указать основные характеристики судна.

5. Указать цель рейса, определить и обосновать критерий оптимальности для данного судна (максимальная экономическая эффективность рейса, безопасность плавания, комфортность пассажиров).

Графические построения (выполняются на второй копии карты).

6. Рекомендованный (допустимый) район плавания между пунктами отправления и назначения равномерно разбить на зоны (квадраты). Размер района плавания должен получиться не менее 10x10 квадратов. Рекомендуется делать сетку плотнее. На каждой стороне и диагонали квадрата написать соответствующее значение критерия оптимальности. Значения критерия следует выбирать, исходя из особенностей плавания данного судна, руководствуясь здравым смыслом. При этом не должно быть сильных разбросов в значениях критерия. Если таковые все же есть, объяснить, чем они вызваны.

7. Отметить на карте (или заштриховать) цветом все навигационные препятствия и опасности. Пути, проходящие через препятствия и опасности, обозначить как непроходимые («0»), если навигация в них невозможна, либо отметить их заведомо отличающимся значением критерия оптимальности, если навигация в них возможна только при определенных условиях.

8. Используя метод ДП, рассчитать каждую узловую точку района плавания, учитывая, что движение должно осуществляться только вперед. Оптимальную траекторию следует обозначать стрелкой. После окончания расчетов следует выделить жирной цветной линией полученную оптимальную траекторию движения из пункта отправления в пункт назначения. В точке отправления написать полученное минимальное (или максимальное) значение критерия оптимальности. Сделать соответствующий вывод.

9. Указать альтернативный маршрут следования в пункт назначения в случае, если судно сойдет с намеченного оптимального маршрута. Причину схода с маршрута следует указать. Причиной может быть: участие в спасательных операциях; поломка судна с последующим ветровым сносом в другую точку района; поступившая по навигационному телексу информация о внезапно возникших навигационных опасностях на пути следования и т.д.

10. Сделать выводы, в которых дать краткое описание полученных оптимальных маршрутов, указать, насколько данные пути экономически выгоднее (безопаснее, комфортнее), чем другие возможные альтернативные пути. Отметить достоинства метода ДП при решении задач планирования переходов в морской практике.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В каком случае целесообразно выполнять обход зон повышенного волнения?

2. В чем заключается метод динамического программирования (метод Беллмана)?

3. Поясните идею построения оптимальной траектории «в обратном времени».

4. Поясните принцип действия автоматизированных систем выбора оптимального маршрута судна.

5. Назовите основных производителей автоматизированных систем выбора оптимального маршрута судна.

6. Какие критерии используются при выборе оптимального маршрута?

7. Как оценить увеличение расхода топлива при прохождении района с повышенным волнением?

8. Какие критерии оптимальности для маршрута перехода используются для грузовых перевозок, пассажирских перевозок?

4. ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАНЯТИЮ

1. Вагущенко Л. Л. Интегрированные системы ходового мостика : учеб. Пособие / Л. Л. Вагущенко – Одесса : Латстар, 2003. – 170 с.

2. Вагущенко Л. Л. Системы автоматического управления движением судна : учебник / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. – 3-е изд., перераб. и доп. - Одесса : Фенікс; М. : ТрансЛит, 2007. – 381 с.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СУДОВОЖДЕНИЯ

Методические указания

Составитель: Аркин Леонид Владимирович

В авторской редакции

Изд. № 34/2026. Объем 4,25 п. л. Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 4,17.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»