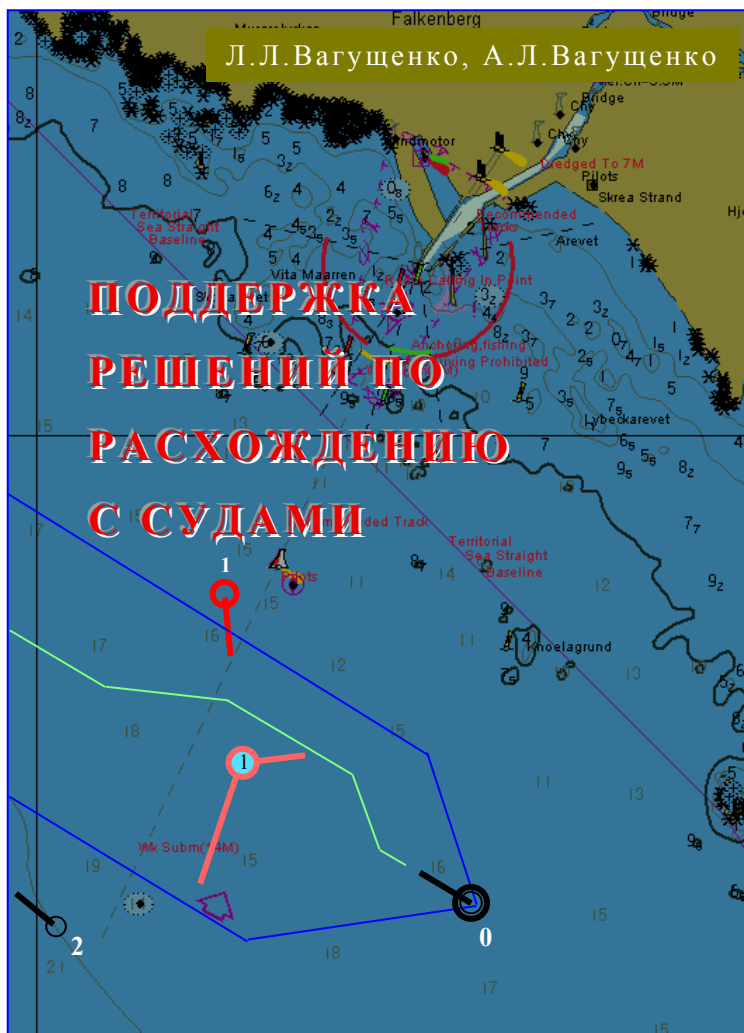


Л.Л.Вагушенко, А.Л.Вагушенко

**ПОДДЕРЖКА
РЕШЕНИЙ ПО
РАСХОЖДЕНИЮ
С СУДАМИ**



Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л.

**ПОДДЕРЖКА РЕШЕНИЙ
ПО РАСХОЖДЕНИЮ С СУДАМИ**

Одесса 2010

Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. Поддержка решений по расхождению с судами: Фенікс, 2010. – 229 с.

УДК 656.61.052

Приводятся общие сведения о выполняемой на судах задаче предупреждения столкновений. Характеризуется информация, на которой основывается принятие решений по расхождению. Рассматриваются изобразительные модели, предназначенные для обеспечения высокого уровня понимания обстановки в районе плавания, освещается выбор с их помощью маневров для предотвращения чрезмерного сближения с другими судами.

Предназначена для научных работников и учащихся судоводительской специальности морских академий, может быть полезной для штурманского персонала транспортных, рыбопромысловых и научно-исследовательских судов.

Ил. 83, табл.40, библиогр. 60 назв.

Рассмотрено и одобрено ученым советом факультета
морского судовождения Одесской национальной морской академии.
Протокол №5 от 22.02.2010

Рецензенты: к.т.н., профессор Алексейчук М.С.
д.т.н., профессор Цымбал Н.Н.

© – Л.Л.Вагущенко, А.Л.Вагущенко

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных задач судовождения является безопасное расхождение судов в море. Основная причина столкновений – субъективный фактор, связанный с необходимостью быстрой обработки информации, оценки обстановки и принятия правильного решения. Эти трудности усугубляются растущей интенсивностью судоходства на морских путях и увеличением скоростей судов. Только благодаря принимаемым организационным, техническим мерам и ужесточением требований к подготовке специалистов удается не допускать повышения количества столкновений. Однако, несмотря на принимаемые меры, проблема расхождения судов остается актуальной и требует обеспечения возможности лучшего понимания ситуаций, повышения качества принимаемых для предупреждения столкновений мер.

Изучение названной проблемы интенсивно проводится с начала внедрения на судах компьютеров для решения задач на мостике, т.е. порядка сорока лет назад. За это время были предложены различные варианты математического описания образуемых судами и границами судоходной акватории ситуаций, формализации Международных правил предупреждения столкновений судов (МППСС-72), синтеза стратегий расхождения, имеющие научное и практическое значение. Существенный вклад в решение этих задач внесли ученые-морьяки Родионов А.И. [28, 29], Жерлаков А.В. [15], Лихачев А.В. [22], Алексейчук М.С. [1], Мальцев А.С. [23, 24], Цымбал Н.Н. [35].

Основное внимание в большинстве выполненных работ по направлению предупреждения столкновений судов уделено созданию математического описания этой проблемы и гораздо меньше – разработке изобразительных моделей, обеспечивающих высокий уровень понимания ситуаций и облегчающих выбор маневров расхождения. Такие модели чрезвычайно важны в системах, где обязанность принятия решений и ответственность за них возложена на человека, и в которых такие решения должны приниматься в короткий срок из-за дефицита времени. К таким системам относится и совокупность бортовых средств, предназначенных для устранения угрозы столкновений со встречными судами – система предупреждения столкновений (СПС).

Данная книга посвящена вопросам, связанным с компьютерной поддержкой решений капитана или вахтенного помощника, принимаемым для безопасного расхождения с судами. Основное внимание уделено изобразительным моделям ситуаций сближения судов, которые способствуют лучшему пониманию обстановки и облегчают определение эффективных действий по предупреждению столкновений.

В первой главе книги приведены общие сведения о выполняемой на судах задаче расхождения с мобильными объектами.

Во втором разделе рассматриваются средства, облегчающие судоводителю выбор мер для предотвращения столкновений судов и обеспечения безопасного плавания.

В третьей и четвертой главах анализируется информация основных датчиков, на которой основывается принятие решений по устранению угрозы столкновений.

Пятый раздел включает вопросы оценки ситуаций. В нем представлена одна из математических моделей ситуаций, образуемых судами, и предложена изобразительная модель, позволяющая оперативно оценить опасность столкновения.

Главы, начиная с шестой, в основном посвящены выбору маневров расхождения с помощью изобразительных моделей ситуаций.

Авторы глубоко признательны М.С.Алексейчуку, Н.Н.Цымбалу за труд по просмотру рукописи книги и за ценные советы, которые способствовали ее улучшению. Все замечания и пожелания по совершенствованию книги, которые возникнут при анализе ее содержания, будут приняты с благодарностью.

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

А) Список сокращений

- АИС – автоматическая идентификационная система;
В-маневр – смещение судна на параллельную линию пути;
ГКК – гирокомпасный курс;
ГЦ – главная «цель»;
ДП – диаметральной плоскость;
ЗИ – зондирующий импульс;
ЗО_J – зона опасных позиций судна оператора по отношению к «цели» *J*;
МОМ_J – метка ограничения маневра судна оператора «целью» *J*;
МППСС-72 – международные правила предупреждения столкновений судов;
МТКС_J – метка точки кратчайшего сближения «цели» *J* с судном оператора;
МЭК – Международная электротехническая комиссия;
РЛС – навигационная радиолокационная станция;
ОДМ – область движения и маневра судна оператора;
СВМ – система вождения судна по заданному маршруту;
САРП – средства автоматической радиолокационной прокладки;
САС – средства автосопровождения;
СО – судно оператора (собственное судно), т.е. судно, на котором рассматривается задача расхождения;
СППР – система поддержки принятия решений;
СПС – бортовая система предупреждения столкновений;
ССП – средства автосопровождения «целей» и прокладки их пути;
ССЦ – система судов-целей;
СУ – система управления;
СЦ или «цель» – судно, с которым расходится судно оператора;
СЭП – средства электронной прокладки;
УКВ – ультракороткие волны;
ЦМ – центр массы;
ЭДЦ – элементы движения «цели» (ее координаты, курс, скорость);
ЭНК – электронная навигационная карта.
- CPA – Closest Point of Approach (точка кратчайшего сближения);
DCPA – Distance at Closest Point of Approach (дистанция кратчайшего сближения);
GPS – Global Positioning System (Глобальная спутниковая навигационная позиционная система);
ECDIS – Electronic Chart Display and Information System (электронно-картографическая навигационно-информационная система);
TCPA – Time to Closest Point of Approach (время до точки кратчайшего сближения).

Б) Перечень условных обозначений

Если не оговорено иное, в книге обозначено:

D – дистанция;

\vec{d} , \vec{t} , \vec{s} – дистанция кратчайшего сближения, оставшееся время и расстояние до момента такого сближения;

d^s , t^s – границы безопасных значений дистанции и времени кратчайшего сближения;

K , V – курс и скорость относительно грунта (путевые угол и скорость);

\tilde{K} – курс относительно воды;

\bar{K} – истинный курс (направление диаметральной плоскости судна);

k , u – относительные курс и скорость судна (его курс и скорость по отношению к другому судну);

q – курсовой угол;

θ – угол поворота.

Примечание: При использовании в нижнем индексе обозначения параметра двух символов, указывающих на два объекта, считается, что этот параметр – *характеристика второго объекта по отношению к первому*. Например, для судов, которым присвоены номера J и H , символ k_{JH} означает курс судна H относительно судна J .

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РЕШАЕМОЙ НА СУДНЕ ЗАДАЧЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ

1.1. Особенности задач расхождения с судами

При доставке грузов и перевозке пассажиров морем обязательным является планирование рейса судна от причала порта отхода до причала пункта назначения. В процессе рейса судоводители обеспечивают выполнения этого плана, стараясь не допустить значительных отклонений от него. Однако ряд обстоятельств, одним из которых являются другие суда, представляющие угрозу столкновения, заставляют отступить от намеченного плана движения, чтобы обеспечить безопасность выполнения перехода.

Таким образом, в общей постановке задача предупреждения столкновений судов состоит в предотвращении чрезмерного сближения с другими судами с помощью мер, обеспечивающих минимальную потерю ходового времени и достаточно высокий уровень безопасности плавания.

Выделяют три вида задачи расхождения:

- автономное на судне принятие мер для избежания столкновений без получения информации от других судов;
- выбор решений на борту с использованием обмена информацией с судами по каналам связи;
- принятие решений в районе береговой системы управления судов (СУДС) с учетом ее указаний и рекомендаций.

Ниже характеризуются вопросы решения задач первого вида. К их особенностям относятся [32]:

- неавтономность процесса расхождения, состоящая в необходимости учитывать возможные маневры или бездействие встречных судов;
- дефицит времени на принятие решений;
- большая инерционность судов, требующая заблаговременных действий по устранению угрозы столкновений;
- неполная предсказуемость процессов расхождения, являющаяся следствием случайных воздействий среды на движение судов, погрешностей проводимых измерений, неодинаковой оценки ситуации судами из-за нечеткости МППСС-72, невозможности точного предсказания намерений других судов и вероятностью их ошибочных действий;
- многочисленность видов образуемых судами и границами судоходной акватории ситуаций, затрудняющая определение четких алгоритмов действий.

Принципы поведения двух судов, сближающихся так, что существует угроза столкновения, определяются МППСС-72. При выборе мер для избежания чрезмерного сближения под термином «судно» понимается система управления (СУ), включающая бортовой комплекс судовождения (БКС) и само судно как материальный объект, управляемый этим БКС.

Формирование в БКС управляющих решений по расхождению с судами основывается на информации, характеризующей процесс их сближения и навигационные условия.

БКС современных морских судов относятся к человеко-машинным системам. Они включает две части: оператора и искусственную систему (средства автоматики). Преобладающее применение в БКС получила компьютерная техника. На современном этапе главным назначением бортовой компьютерной системы является *информационная помощь в выполнении задач судовождения*, состоящая в предоставлении своевременных, достаточных и легко интерпретируемых данных, необходимых для принятия решений.

Условно выделяемые в БКС средства, предназначенные для решения задач расхождения с другими судами, образуют бортовую **систему предупреждения столкновений**. Современные компьютерные СПС относятся к *системам поддержки принятия решений* (СППР). СППР - один из видов информационных систем, являющихся неотъемлемой частью СУ. Выходные данные СППР используются для подготовки решений в системах управления, для которых невозможно или экономически нецелесообразно создание автоматических средств, полностью выполняющих выработку и реализацию управляющих воздействий. СППР автоматизирует информационные процессы подготовки решений при управлении и оказывает помощь руководителю/оператору в ходе выполнения поставленной задачи. Эта система обеспечивает учет основной требуемой при управлении информации, сокращает до минимума время ее обработки, представляет в концентрированном виде данные, необходимые для принятия решений, подготавливает варианты допустимых действий и рекомендует из них подходящее.

При рассмотрении задач предупреждения столкновений используются следующие основные термины.

Судно, решения которого по расхождению являются предметом обсуждения, называется *собственным судном* или **судном оператора** (СО). На английском языке это судно называется *own ship*.

Множество внешних по отношению к судну оператора элементов, оказывающих на него влияние или находящихся под его воздействием в условиях рассматриваемой задачи предупреждения столкновений, является его **внешней средой** (ВС). Во внешней среде судна выделяют две части:

- безразличное окружение;
- окружение с целесообразным поведением.

Первую часть ВС составляют навигационные, гидрографические, метеорологические и гидрологические условия плавания, влияющие в той или иной мере на действия по предупреждению столкновений. Во вторую часть входят находящимися в районе СО суда и другие мобильные объекты, действия которых следует учитывать при обеспечении безопасности движения.

Выполняющие свои планы перехода мобильные объекты, характер движения которых следует учитывать судну оператора при обеспечении безопасности плавания, называются *судами-целями* (СЦ), либо просто «целями». Чтобы не путать с *целью* (назначением) выполнения задач и операций, ниже термин «*цель*», обозначающий судно, приводится в кавычках. По-английски судно-цель называется *target* или *strange ship*.

Совокупность объектов с целесообразным поведением, входящих в окружение судна оператора, обычно рассматривается как *система судов-целей* (ССЦ).

Непривилегированным из двух опасно сближающихся судов называется то, которое согласно правилам МППСС-72 должно уступить дорогу другому судну. Судно, которому этими правилами предписывается сохранять режим движения, считается *привилегированным*.

Задача устранения угрозы столкновений рассматривается с разных позиций. В четко определенных стандартных ситуациях сближения двух судов ее иногда относят к *ситуационному управлению*. Оно основывается на выявлении ситуаций, их классификации и способах разрешения. Задачи ситуационного управления характеризуются известным набором ситуаций и отвечающих им решений. Совокупность ситуаций и соответствующих им решений определяется экспертами, либо получается на основе наставлений, правил, рекомендаций. При реализации управления характеризуемого вида СО непрерывно тестирует условия своей работы для распознавания ситуаций, в которых оно функционирует. При возникновении ситуации конкретного вида СУ выдает информацию об управляющих действиях.

В большинстве случаев задача расхождения рассматривается как автономное планирование целесообразного поведения в динамически изменяющейся среде. Оно включает формирование и корректировку целей управления, выработку стратегии (плана, программы) получения решения в зависимости от состояния СУ и ее внешней среды.

Предупреждение столкновений рассматривается и как задача организационного управления, так как меры судов при расхождении должны быть согласованными. Один из вариантов такого подхода состоит в рассмотрении характера взаимодействия судов как коалиции интересов по признаку безопасности [35]. Здесь цель взаимодействия должна доминировать над собственными интересами каждого из судов. Названный характер взаимодействия формализуется методами теории координации или теории статистических решений. Особо четко организационный характер управления проявляется при выполнении задач расхождения береговыми системами управления движением судов.

1.2. Основные контролируемые зоны

В процессе движения судна для обеспечения своевременных мер по предупреждению столкновений выделяют области разного, по определенному признаку, качества. Они служат для конкретизации рамок

задачи и выработки предупреждений о событиях, которые должны учитываться при решении. Основные из этих зон приведены ниже.

Зона наблюдения – это область, в которой отслеживается перемещение судов. Она определяется дистанцией обнаружения объектов средствами наблюдения или установленной шкалой дальности.

Запретная зона (судовой домен опасности) представляет собой окружающее судно пространство, в котором стараются не допустить появления объектов. В качестве такой зоны обычно используется круговая область с центром в месте судна. Она задается своим радиусом – допустимым расстоянием кратчайшего сближения (d^s).

Показатель угрозы объектов в виде запретной зоны называется d -критерием опасности.

Область взаимных обязанностей является пространство, в котором два опасно сближающиеся судна должны выполнять требования МППСС-72. Обычно такая область определяется задаваемым временем (t^s) до момента кратчайшего сближения судов. Этот показатель необходимости соблюдать Правила называется T -критерием опасности.

Область движения и маневров (ОДМ) – это акватория, за пределы которой не должно выходить судно, предпринимая действия по расхождению. Эта зона представляет навигационные и некоторые другие ограничения на перемещение судна.

Зона автозахвата – пространство, при попадании в которое судно берется на автосопровождение.

Охранная зона – кольцевая или другой формы область, выделяемая для выработки предупреждений о появлении объектов, требующих повышенного внимания. Круговая и кольцевая зона задается расстоянием от судна до границы этой области.

Другие области, используемые в задачах предупреждения столкновений, характеризуются при рассмотрении алгоритмов оценки ситуаций и выбора действий для расхождения.

1.3. Этапы принятия решений по предупреждению столкновений

Для характеристики функций СППР при управлении тем или иным процессом или объектом обычно используется *схема технологического цикла принятия решений*. Согласно ей условно выработка управляющих воздействий рассматривается как периодический процесс, каждый цикл которого включает этапы:

1. Получение информации о СУ и ВС, прогноз и оценка удовлетворительности состояния системы;
2. Формирование цели о некотором другом состоянии, в которое желательно перевести систему;
3. Определение допустимых путей достижения системой поставленной цели;
4. Выбор из множества допустимых решений наилучшего;

5. Реализация принятого решения.

Первые три этапа называются *подготовкой решения* по управлению, а четвертый – его *принятием*. На пятом этапе выработанное решение реализуется, после чего поэтапные действия повторяются.

Используемые на практике алгоритмы получения решений могут в определенной степени отличаться от приведенной схемы. Количество этапов при выработке управляющих воздействий, их последовательность и содержание, связи между ними в разных СУ и в разных ситуациях функционирования не являются столь строго определенными. Однако такая обобщенная схема полезна, так как позволяет сконцентрировать внимание на особенностях принятия решений во всех СУ.

При рассмотрении выполняемой на судне задачи предупреждения столкновений содержание этапов обобщенной схемы *технологического цикла принятия решений* можно представить следующим образом.

Первый этап – наблюдение за окружающей обстановкой, обнаружение «целей», нахождение, уточнение и непрерывный контроль их положения и элементов движения, оценка риска столкновения.

Второй этап характеризуется существующей угрозой столкновения и включает:

- установление статуса «целей»;
- классификацию их по степени опасности для судна оператора;
- определение необходимости маневра СО или сохранения им курса и скорости.

Третий этап появляется при необходимости принятия СО действий для расхождения. Он содержит операции:

- установление границ области, в которой движение при маневре будет безопасным в навигационном отношении;
- выявление «целей», которые в ближайшее время могут или должны изменить элементы движения;
- определение возможных действий для устранения угрозы столкновений;
- прогноз результатов планируемых маневров с оценкой их последствий;
- выбор из возможных маневров допустимых.

Четвертый этап – это определение наилучшего из допустимых маневров с дополнительной проверкой его соответствия МППСС-72, обычной морской практике, обстоятельствам и условиям плавания, и нахождение маневра возвращения к прежнему курсу/скорости или к запланированному маршруту.

Пятым этапом является реализация стратегии расхождения с непрерывным контролем обстановки, направленным на своевременное выявление в ней изменений, которые могут повлиять на результат выполняемых действий, а при наличии таких изменений – коррекция намеченного плана движения.

Необходимо отметить обобщенность содержания названных этапов принятия решений и возможные отличия их содержания в реальных случаях.

Для открытого моря последовательность операций, выполняемых непривлекгированным судном при оценке ситуации и выборе маневра для расхождения с другим судном, в зависимости от дистанции до него приближенно можно представить в виде:

- 30-20 миль - обнаружение судов, оборудованных аппаратурой АИС;
- 20-10 миль - обнаружение крупнотоннажных и среднетоннажных «целей» с помощью РЛС и «захват» их на сопровождение;
- 10-7 миль - оценка ситуации по данным РЛС, САРП, АИС и карты (анализ истинных и относительных элементов движения «целей», навигационной обстановки, оценка риска столкновения и др.), продолжение обнаружения судов с помощью РЛС и взятие их на сопровождение, рассмотрение возможных вариантов расхождения;
- 7-5 миль – наблюдение с целью обнаружения малых судов, уточнение оценки ситуации, принятие решения для расхождения на безопасной дистанции;
- 5-4 мили – реализация решения и слежение за перемещением «целей» с помощью радиолокационного оборудования, АИС и визуально;
- от 4-х миль до окончательного прохождения судна – продолжение контроля развития ситуации, при необходимости, дополнительные действия для коррекции ошибок, допущенных при выборе маневра, или для учета предпринятого «целью» действия.

1.4. Маневры расхождения

Для устранения угрозы столкновения применяют маневры курсом, скоростью, одновременно курсом и скоростью [32, 53].

Из маневров курсов выделим три вида: поворот на заданный угол, циркуляция и смещение на параллельную линию пути (В-маневр) [7].

Поворот на заданный угол. Изменение и курса K для расхождения с судами является наиболее распространенным действием, позволяющим быстро изменить ситуацию к лучшему. Рулевому обычно задается выполнение поворота с углом руля $\beta = 15^0$, чтобы, при необходимости, можно было бы ускорить приход к намеченному курсу. Используется и способность авторулевого (АР) изменять курс автоматически. Согласно требованиям ИМО АР должны в пределах поворотливости судна автоматически изменять курс на заданный угол с назначенным *радиусом* либо *угловой скоростью*. При своевременном принятии мер по избежанию столкновения для выполнения поворотов берется среднее из значений этих параметров. Обычно для маневров курсом требуется, чтобы выход судна на намеченный курс выполнялся без существенного зарыскивания.

Когда повороты выполняются с одним углом руля, кривизна траектории судна зависит от его загрузки, дифферента. При изменениях курса авторулевым с назначенным одним *радиусом* либо *угловой скоростью* влияние этих факторов значительно меньше.

На рис. 1.1. показана типичная траектория центра массы (ЦМ) судна при изменении K на угол θ и ее параметры:

$S_{\theta 1}$ - расстояние до путевой точки P , на котором надо начать поворот, чтобы точно выйти на линию нового курса;

$S_{\theta 2}$ - расстояние от точки P до точки B , в которой судно выходит на новый курс.

t_{θ} - интервал времени, который занимает поворот.

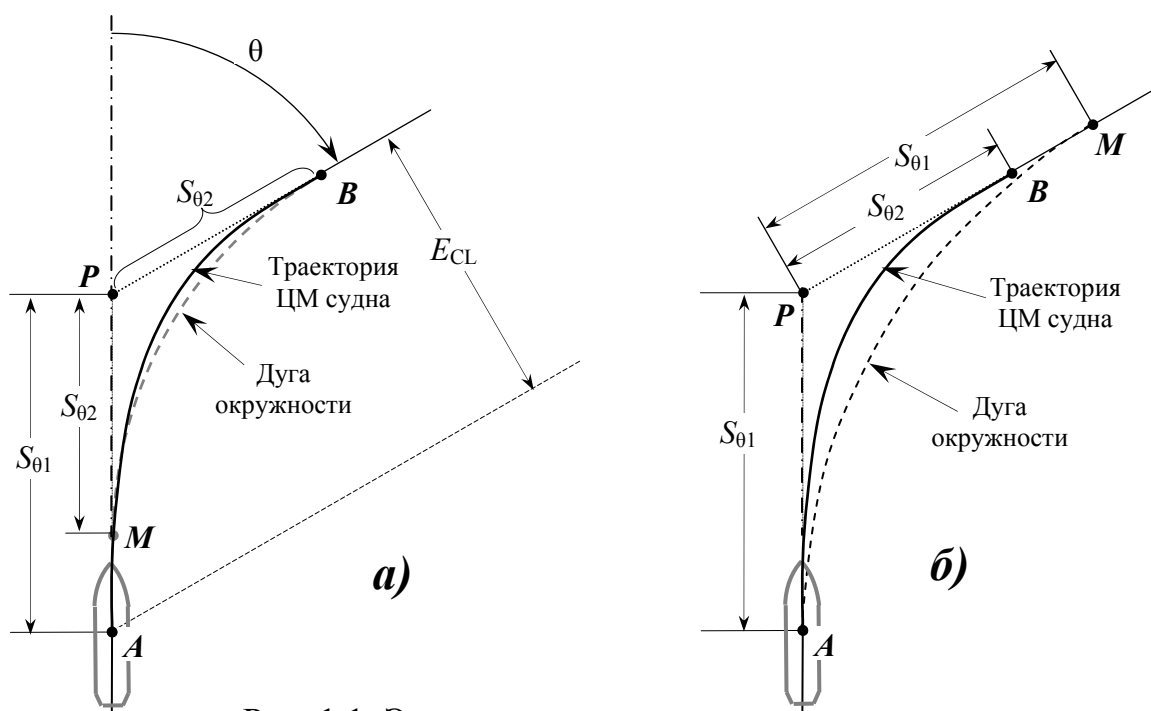


Рис. 1.1. Элементы поворота

В судовождении траектория судна при повороте обычно представляется упрощенно. Она может заменяться двумя отрезками (рис. 1.1,*а*): прямолинейным AM , отражающим запаздывание в изменении курса, и дугой MB окружности, показанной пунктирной линией. Чаще всего эту траекторию считают дугой окружности (рис. 1.1,*б*). Преимуществом первого варианта является меньшая погрешность, а второго – использование для задания траектории только одного параметра.

Если при выборе маневра изменение курса считать мгновенным (т.е. не учитывать инерционность судна), то в положении линии нового курса будет погрешность (см. рис. 1.1,*а*)

$$E_{CL} = S_{\theta 1} \cdot \sin \theta. \quad (1.1)$$

С уменьшением V скорость изменения курса снижается, соответственно ухудшается и возможность быстрого изменения ситуации к лучшему.

Циркуляция. Особым маневром, используемым для расхождения, является циркуляция. Она начинается перекладкой руля на определенный

угол β , который в процессе дальнейшего движения остается постоянным и изменяется лишь для одерживания судна при приходе к значению исходного курса.

Циркуляцию характеризуют следующие параметры (рис 1.2):

- диаметр установившийся (D_0);
- диаметр тактический (D_T);
- выдвиг (l_1);
- прямое смещение (l_2);
- обратное смещение (l_3);
- угол дрейфа (α);
- период циркуляции (τ_M - время маневра);
- полуширина выметаемой полосы (b);
- максимальный выдвиг (l_4);
- максимальное прямое смещение (l_5).

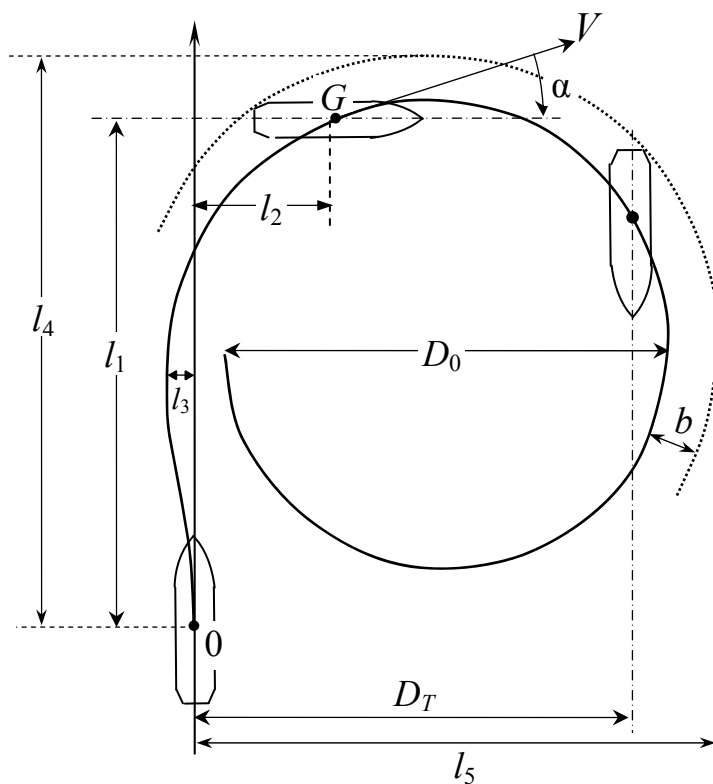


Рис. 1.2. Схема циркуляции

Для избежания столкновения циркуляция используется, когда это действие предпочтительней, чем другие маневры. Она обычно эффективна, когда линии курсов судов пересекаются под углом от 45° до 135° .

Период циркуляции зависит от V , размеров и особенностей формы корпуса и руля судна, скорости хода и ряда других факторов [26, 30]. Обычно он находится в пределах от 3 до 10 минут. При заблаговременном

расхождении циркуляция чаще всего выполняется с $\beta = 15^\circ$. Необходимо помнить, что циркуляция, выполняемая дизельными судами с предельной перекладкой руля, приводит к существенному увеличению нагрузки на двигатель, а иногда – и к перегрузке его. Если прогноз ситуации на момент окончания циркуляции покажет, что ее время τ_M желательно несколько изменить, то выбирается другой угол перекладки руля.

Следует отметить, что, так как период τ_M довольно велик, прогнозирование циркуляции по грубым моделям может привести к существенным ошибкам в оценке ситуации на момент ее окончания. Поэтому используемые в СПС модели должны достаточно точно отражать траекторию движения ЦМ судна при заданной перекладке руля и учитывать изменение скорости в процессе циркуляции.

Чем лучше поворотливость судна, тем больше снижается его скорость на циркуляции. В среднем на крупнотоннажных судах во время маневра с рулем на борту при изменении курса на 90° скорость уменьшается приблизительно на 30%, а при повороте на 180° – вдвое. При небольших углах перекладки руля скорость падает мало.

Для иллюстрации влияния инерционных свойств на скорость выполнения поворотов и параметры циркуляций в табл. 1.1 для трех судов представлены:

τ - время от начала циркуляции до момента поворота на угол θ ;

l_1 - выдвиг;

D_T - тактический диаметр;

$V_M / V_{\text{ш}}$ - отношение скорости в конце циркуляции к начальной скорости.

Таблица 1.1. - Элементы циркуляций трех судов

	Контейнеровоз, 25 тыс.т. $L=140$ м; $V_0=17.1$ уз.		Балкер, 61 тыс.т. $L=180$ м; $V_0=14.5$ уз.		Танкер, 130 тыс.т. $L=240$ м; $V_0=13.3$ уз.	
	$\beta=15^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=15^\circ$	$\beta=30^\circ$	$\beta=15^\circ$	$\beta=35^\circ$
θ°						
10	0 ^m 18 ^s	0 ^m 14 ^s	0 ^m 26 ^s	0 ^m 20 ^s	0 ^m 37 ^s	0 ^m 26 ^s
30	0 36	0 27	0 52	0 39	1 16	0 53
50	0 54	0 38	1 15	0 56	1 52	1 18
70	1 11	0 56	1 37	1 21	2 27	1 43
90	1 28	1 02	2 00	1 29	3 04	2 08
180	2 47	1 56	3 48	2 52	5 58	4 13
360	5 26	3 45	7 35	5 52	12 10	8 50
Выдвиг,кб	3.1	2.3	3.5	2.7	5.1	3.7
D_T , кб	4.5	2.9	4.7	3.3	6.8	4.5
V_M/V_0	0.9	0.75	0.75	0.6	0.7	0.55

В этой таблице суда характеризуются весовым водоизмещением и длиной L между перпендикулярами.

Известно, что циркуляционные траектории судна при разных скоростях хода мало отличаются [12]. Отсюда следует, что время поворота можно

считать пропорциональным V . Если известно время $t_{\theta,1}$ поворота судна на угол и при начальной скорости V_1 , то при скорости V_2 оно будет

$$t_{\theta,2} \approx V_1 \cdot t_{\theta,1} / V_2. \quad (1.2)$$

На циркуляции (и при поворотах) возникают поперечные наклоны судна. Угол крена в процессе циркуляции характеризуется двумя значениями: *максимальным* - при входе в движение по окружности, *установившимся* - при перемещении по ней. На судах с малой метацентрической высотой при руле на борту крен достигает значительной величины. Это может стать причиной смещения груза или чрезмерных нагрузок на его крепления. На таких судах максимальная величина перекладки руля должна ограничиваться.

В-маневр. Типичная схема расхождения двух судов может быть представлена в виде, показанном на рис. 1.3, где K_{III} - курс судна оператора перед маневром.

В этой процедуре можно выделить две фазы, каждая из которых включает два поворота на одинаковый угол, только в разные стороны [4]:

- уклонение с возвращением к прежнему курсу (повороты на угол θ_1 в точках A_1, F_1);
- возвращение к прежней линии пути (изменения курса на угол θ_2 в точках A_2, F_2).

Совокупность выполняемых в таких фазах действий с прямолинейным участком движения между ними названа **В-маневром**, где приставка **В-** указывает, что он состоит из двух поворотов.

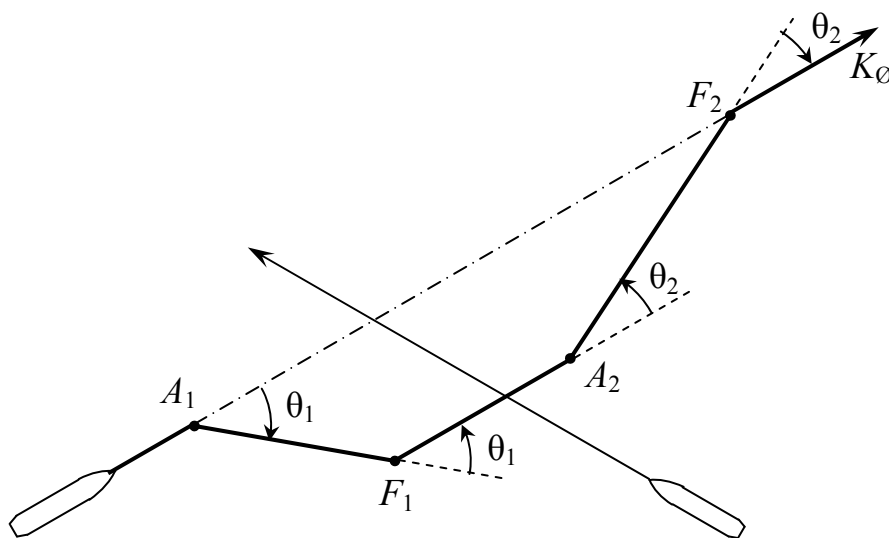


Рис. 1.3. Характеристика типичного процесса расхождения с одним судном

Если пренебречь инерционностью судна, то траектория В-маневра (рис. 1.4), определяется параметрами ξ и θ , где ξ - величина смещения от линии исходного курса K_{III} . Началом маневра является место (обозначим его A), где курс K_{III} изменяется на величину θ , а концом – точка F , в которой СО возвращается к нему.

При учете инерционности судна В-маневр определяется значениями ξ , θ , а также используемым для поворотов способом и его параметром. Траектория В-маневра с учетом динамики судна представлена на рис. 1.5, где AC , DE – участки криволинейного, а CD - отрезок прямолинейного движения. Параметры поворотов S_{θ_1} , S_{θ_2} , t_θ зависят от θ , способа поворота и его параметра.

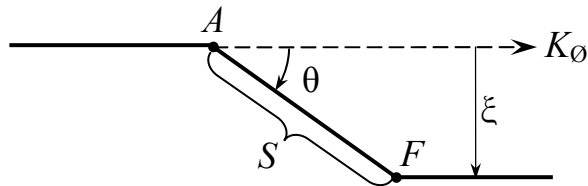


Рис. 1.4. Упрощенное представление В-маневра

Место F (см. рис. 1.4 и 1.5) пересечения линий уклонения и нового, параллельного исходному, курса называется *определяющей точкой В-маневра*.

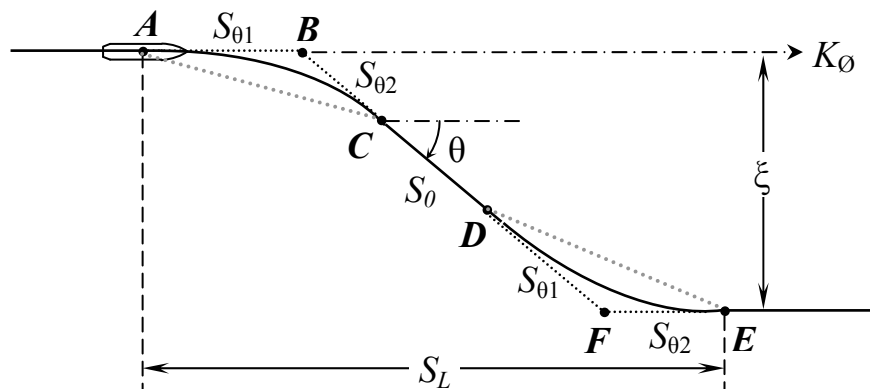


Рис. 1.5. Параметры В-маневра

При уменьшении угла поворота θ снижается потеря времени при следовании к пункту назначения. Однако согласно МППСС-72 предпринимаемое изменение курса должно быть заметным. Поэтому в открытом море и прибрежных водах θ обычно берут из диапазона $30-60^\circ$.

Изменение скорости. В ситуациях, когда для безопасного маневра курсом по той или иной причине недостаточно пространства, расхождение

выполняется уменьшением скорости V судна. Это действие должно быть заметным и, по возможности, достаточно быстрым.

Различают пассивный переход от начальной скорости V_{III} к новому значению V_M и активный (ускоренный). В первом случае двигатель переводится в режим работы, соответствующий намеченному новому значению V . Типичные графики изменения со временем скорости V , проходимого расстояния S , упора винта U при переходе судна от переднего полного хода маневренного (ППХм) к малому (ПМХ) показаны на рис. 1.6,а.

К пассивному относится также переход к новому значению скорости путем остановки двигателя на время, пока скорость не снизится до значения V_M . В этот момент двигатель переводится в соответствующий V_M режим.

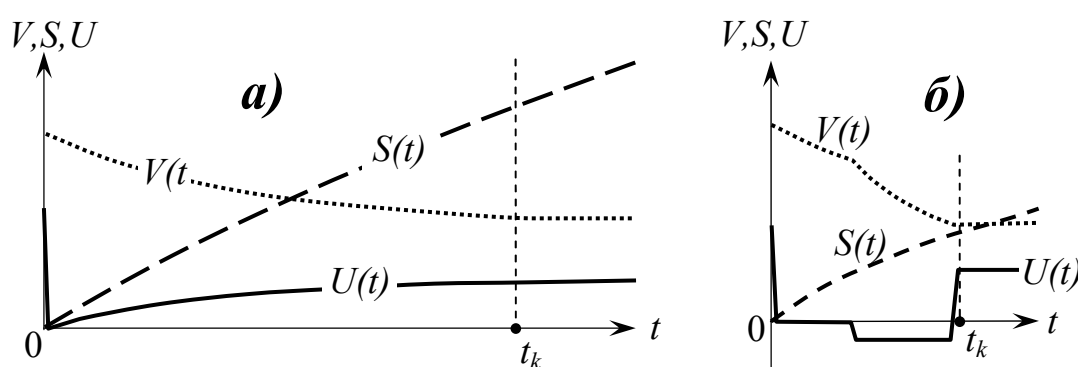


Рис. 1.6. Уменьшение скорости хода
 а) пассивное; б) ускоренное.

Пассивные изменения V занимают продолжительное время. Чтобы его уменьшить, используется работа машины на задний ход. Если ситуация не является критической, то обычно применяется задний малый ход (ЗМХ), что позволяет порядка в 2-3 раза уменьшить время достижения новой скорости по сравнению с пассивным переходом к ней. В случае необходимости, скорость можно снижать работой машины на ЗСХ. При заблаговременном принятии действий по расхождению использовать для снижения хода работу двигателя на задний полный ход нерационально. Это связано с большой нагрузкой на двигатель, его упорный подшипник и с резким ухудшением управляемости по курсу. В результате траектория судна при торможении искривляется. На крупнотоннажных судах с ВФШ при таком снижении хода судно может отклониться от линии пути на 15-20% расстояния, проходимого при маневре.

Типичные характеристики активного перехода от ППХ маневренного к ПМХ для судна с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и винтом фиксированного шага (ВФШ) показаны на рис. 1.6,б.

На примере трех судов с ДВС и ВФШ в табл. 1.2 характеризуются возможные значения времени τ_M маневра и расстояния S_M , которое проходят суда при снижении режима хода. При пассивном переходе двигатель переводится из соответствующего V_{III} режима в режим нового

значения V_M скорости (без использования остановки двигателя). Значительность приведенных в таблице данных говорит о необходимости выполнения маневра на довольно больших расстояниях до встречного судна. Не на много меньше τ_M и S_M при переходе к V_M путем остановки двигателя (через СТОП).

После безопасного расхождения судов, скорость увеличивается до прежнего значения.

Таблица 1.2. - Элементы снижения режима хода трех судов

Режим снижения V	Контейнеровоз, 25 тыс.т. $V_0=15.5$ уз.; $V_M=8.8$ уз.		Балкер, 61 тыс.т. $V_0=13.0$ уз.; $V_M=7.0$ уз.		Танкер, 130 тыс.т. $V_0=13.0$ уз.; $V_M=7.1$ уз.	
	Пассивный	Активный (ЗМХ)	Пассивный	Активный (ЗМХ)	Пассивный	Активный (ЗМХ)
τ_M	5 ^m 00 ^s	1 ^m 30 ^s	9 ^m 00 ^s	4 ^m 50 ^s	15 ^m 00 ^s	5 ^m 50 ^s
S_M , кб	9.8	3.1	14.6	7.9	24.0	9.9

Сравнительная характеристика маневров курсом и скоростью. Как показывает статистика, из предпринимаемых действий по расхождению порядка 95% (т.е. львиная доля) приходится на маневры курсом. Этому факту имеется вполне очевидное объяснение, состоящее в следующем.

Повороты судна по продолжительности значительно короче, чем маневры скоростью и позволяют быстрее изменить ситуацию к лучшему.

К отработке изменения курса рулевое устройство готово в любой момент времени. Для снижения хода двигатель должен быть переведен в маневренный режим.

Выполнение маневров курсом проще, чем процесс перехода к другому режиму работы главной движительной установки (ГДУ).

Погрешность прогноза изменения V больше, чем маневра курсом. Первой причиной этого является продолжительность изменения скорости, а второй – «разброс» во времени начала операций, входящих в перевод ГДУ на другой режим хода, особенно в случаях, когда их выполняет механик, а не система ДАУ главного двигателя. На величину времени и пути торможения влияют и обрастание корпуса, интенсивность волнения и его направление.

Процесс изменения скорости судов с разными типами двигателей (внутреннего сгорания, турбинных, электрических и др.) и движителей (ВФШ, ВРШ, и др.) отличается, что требует использования разных моделей для прогнозирования этого процесса.

По охарактеризованным выше причинам для расхождения с судами обычно применяют маневры курсом. Скорость изменяют в условиях, в которых для обеспечения безопасности двигатель переводится в маневренный режим (например: на подходах к портам, в узкостях, при ограниченной видимости). Маневр скоростью применяют тогда, когда он эффективнее маневра курсом, или когда изменять направление движения опасно.

Изменение курса и скорости. Изредка обстоятельства плавания заставляют расходиться одновременным изменением K и V . При выполнении такого маневра вначале начинается изменение курса, а затем - скорости, но не наоборот, когда работа машины на задний ход ухудшает поворотливость судна. Например, этот маневр может быть применен в ситуации пересечения курсов под углом порядка $40-140^{\circ}$, «цель» справа, имеет близкую к судну оператора скорость, уклонение вправо опасно. Одним из действий в этом случае может быть поворот влево на курс, параллельный курсу «цели», с последующим снижением V , чтобы она быстрее прошла мимо и СО могло вернуться к прежним элементам движения.

1.5. Правила и положения, определяющие выбор действий по предупреждению столкновений

Правила МППСС-72. При устранении угрозы столкновений руководствуются МППСС-72, местными правилами национальных администраций, накопленными сведениями о предпочтительном поведении в определенных видах ситуаций (правилами обычной морской практики).

МППСС-72 являются системой международных нормативных и рекомендательных правил, направленных на предупреждение столкновений судов в море как одного из важных аспектов обеспечения безопасности мореплавания. Эти правила - основной официальный международный документ, определяющий действия при расхождении судов. Ими также предписаны огни и знаки, которые должны нести суда, требования к их установке и характеристикам, установлены звуковые и световые сигналы для сообщений об определенных обстоятельствах и требования к сигнальным средствам. МППСС-72 служат регулятором взаимного движения судов и содержат общие принципы их поведения при расхождении.

Положения, лежащие в основе принятия решений по устранению угрозы столкновений, содержатся в части «В» МППСС-72 - *Правила плавания и маневрирования*. В основе этих правил лежит принцип разделения обязанностей между двумя опасно сближающимися судами. Выделим в части «В» МППСС-72 ряд положений, определяющих действия на этапах принятия решений по управлению судном.

Первого этапа выработки решений по предупреждению столкновения, на котором оценивается удовлетворительность текущего состояния системы управления, касаются приведенные ниже выдержки из Правил.

Каждое судно должно постоянно вести надлежащее визуальное и слуховое наблюдение, так же как и наблюдение с помощью всех имеющихся средств, применительно к преобладающим обстоятельствам и условиям плавания, с тем, чтобы полностью оценить ситуацию и опасность столкновения. – Правило 5.

Критерием надлежащего наблюдения может служить быстрое обнаружение неожиданных изменений в обстановке: немедленное – при нормальной видимости; в кратчайший срок – при ограниченной. Наблюдение

должно быть постоянным, ни на мгновение не прерываемым. Его следует проводить с помощью всех имеющихся технических средств, в том числе электронных систем, используемых для оценки навигационной безопасности и угрозы столкновений, для планирования маневров в стесненных водах. Соблюдение требования о надлежащем наблюдении и обязательной оценке образуемых судами ситуаций - залог своевременного принятия эффективных мер по расхождению.

Определяют поведение судна на первом этапе принятия решений и следующие положения.

Каждое судно должно использовать все имеющиеся средства в соответствии с преобладающими обстоятельствами и условиями для определения наличия угрозы столкновения. Если имеются сомнения в отношении наличия такой угрозы, то следует считать, что она существует. – Правило 7(а).

Предположения не должны делаться на основании неполной информации, особенно радиолокационной. – Правило 7(с).

Опасность столкновения считается существующей, если пеленг приближающегося судна заметно не изменяется. – Правило 7(d/i).

В правиле 19, пункт (с) еще раз подчеркивается, что все требования, содержащиеся в Правилах 5-10, должны выполняться в условиях ограниченной видимости с учетом повышенной трудности плавания. В пункте (е) этого правила отмечено, что сближение в открытом море на дистанцию звукового контакта должно рассматриваться как опасное.

Ко **второму этапу** принятия решения, на котором определяется необходимость мер для предупреждения столкновений, относится правило 18 (Взаимные обязанности судов). Им устанавливается навигационный статус (категория) судна по приоритету движения при расхождении, когда суда находятся на виду друг у друга. Состояния судна (State - статус), рассматриваемые при решении задач расхождения, приведены в Правиле 3:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------|
| 1. На ходу под двигателем; | 6. Не управляется; |
| 2. На ходу под парусами; | 7. На мели; |
| 3. Занято ловом рыбы; | 8. На якоре; |
| 4. Ограничено осадкой; | 9. У причала. |
| 5. Ограничено в возможности маневра; | |

Согласно Правилу 18 навигационный статус менее маневренных судов больше (табл. 1.3). Статус судна принимается во внимание при установлении необходимости маневра.

Таблица 1.3. – Навигационный статус судов по Пр.18, МППСС-72

Статус	Тип судна	Статус	Тип судна
0	С механическим двигателем	3	Ограниченное в возможности маневрировать
1	Парусное	4	Лишенное возможности управляться
2	Занятое ловом рыбы		

Второго этапа принятия решений касается и правило 19, пункт (d), в котором определено, что при плавании в условиях пониженной видимости независимо от маневренных возможностей, судно должно заблаговременно принять действия для расхождения. Оба опасно сближающиеся судна в этом случае не имеют привилегии сохранять курс и скорость.

Этапов 3 и 4 по выбору маневра расхождения на основании результатов выполнения первых двух этапов, касаются требования, приведенные ниже в соответствии с текстом либо в сокращенном виде.

Любое действие должно быть уверенным, своевременным и соответствовать хорошей морской практике, привести к расхождению с «целью» на безопасном расстоянии и не вызывать чрезмерного сближения с другими судами. – Правило 8.

Каждое судно, обгоняющее другое судно, должно держаться в стороне от пути обгоняемого судна. - Правило 13.

Когда два судна сближаются на противоположных или почти противоположных курсах так, что возникает опасность столкновения, каждое из них должно изменить свой курс вправо, с тем, чтобы другое судно прошло от него по левому борту. – Правило 14.

Когда два судна идут пересекающимися курсами так, что возникает опасность столкновения, то судно, которое имеет другое на своей правой стороне, должно уступить дорогу. Выполняя это предписание, оно должно, если позволяют обстоятельства, избегать пересечения по носу курса другого судна. – Правило 15.

Когда одно из двух судов должно уступить дорогу другому судну, то последнее должно сохранять курс и скорость. Однако, это другое судно, когда для него становится очевидным, что судно, обязанное уступить дорогу, не предпринимает требуемого этими правилами действия, может принять меры, чтобы избежать столкновения только собственным маневром.

Когда по какой либо причине судно обнаруживает, что оно находится настолько близко к другому судну, что столкновения нельзя избежать только действием судна, уступающего дорогу, первое судно должно предпринять такое действие, которое наилучшим образом поможет предотвратить столкновение. – Правило 17.

При плавании судов в ограниченную видимость судно, которое обнаружило присутствие другого судна только с помощью радиолокатора, должно своевременно предпринять действие для расхождения. Если этим действием является изменение курса, то, насколько возможно, следует избегать:

уклонения влево, если другое судно находится впереди траверза и не является обгоняемым;

поворота в сторону судна, находящегося на траверзе или позади траверза. – Правило 19.

Сочетание объективных и субъективных факторов оказывает такое влияние на особенности образуемых судами ситуаций, которые не могут

быть заранее предусмотрены. Поэтому Правилами количественно не определяются многие понятия, значения которых зависят от условий плавания: «безопасная скорость», «безопасное расстояние», «чрезмерное сближение», «своевременное действие» и другие. Отсюда следуют трудности создания алгоритма расхождения с судами, учитывающего все возможные условия и обстоятельства встречаемых ситуаций.

МППСС-72 дают лишь общие направления принятия решений, но при этом подразумевается, что обычный для стандартной ситуации образ действий может быть неприемлем или опасен в частном случае.

Рекомендации обычной морской практики. Кроме содержащихся в МППСС-72 основных правил, имеются и конкретизирующие их применение в типичных ситуациях дополнительные положения, называемые правилами *хорошей* или *обычной* морской практики. Они содержатся в комментариях к МППСС-72, в учебной литературе по управлению судном и в других специальных источниках [23, 30, 32]. Приведем некоторые из этих положений.

Когда «цель» представляет угрозу, то при наличии других судов следует определить те из них, которые могут стать опасными при выбираемом маневре.

Намеченный маневр не должен быть противоположным действию, обычно выбираемому судоводителями в похожей ситуации.

Уменьшение относительной скорости сближения судов сопровождается ростом ресурса времени на принятие решений.

Маневр возвращения к прежним элементам движения или к прежней линии пути должен быть своевременным и заметным, как и отклонение от опасности.

Чем значительнее и интенсивнее изменение курса и скорости, тем быстрее устраняется угроза столкновения. Желательно, чтобы время выполнения маневра расхождения было, по возможности, малым и не превышало 3 минуты.

При движении полным ходом отклонение курсом от «цели» происходит значительно быстрее, чем при торможении. На малом ходу это преимущество теряется из-за роста времени поворотов. Снижение хода ухудшает маневренность по курсу из-за уменьшения эффективности руля.

Если в процессе сближения с судами могут быть сделаны предположения об их возможных или необходимых манерах, то эти вероятные меры следует учесть при выборе действия для расхождения.

Когда курсовой угол приближающейся опасной «цели» невелик, увеличение ДСРА легче достигается изменением курса. Снижение скорости в этом случае, хотя и приводит к росту ТСРА, мало влияет на ДСРА.

Применение изменения скорости или циркуляции для расхождения с опасной «целью», находящейся на небольшом курсовом угле, малоэффективно. Эти маневры могут быть рациональны, когда представляющая угрозу «цель» находится на курсовом угле порядка $45-135^{\circ}$.

Поскольку снижение V , как правило, занимает больше времени, чем изменение курса, оно должно начинаться раньше, чем поворот, и выполняться переводом телеграфа сразу на два-три хода. Для ускорения этого процесса следует использовать реверсирование машины. При достижении требуемой скорости ей задается выбранное значение хода.

Ранние действия по расхождению снижают напряженность выполнения задачи, однако их обоснованность уменьшается из-за интегрирования ошибок в определении элементов сближения и возможности изменения режима движения встречным судном.

Задержка в выполнении маневра приводит для уступающего дорогу судна к необходимости использования более сильных, чем при заблаговременном расхождении, маневров и при значительно меньшем ресурсе времени. Кроме того, из-за бездействия этого судна и у привилегированного судна возникает такая же необходимость.

Когда суда находятся на виду друг у друга и судно, обязанное уступить дорогу, не предпринимает мер, слишком ранний маневр привилегированного судна противоречит принципу распределения обязанностей судов, слишком поздний – не позволяет избежать столкновения только собственными действиями. Расстояние, на котором допускаются меры привилегированного судна, должно быть существенно меньше того, на каком обязано предпринять маневр судно, уступающее дорогу. Привилегированное судно, предпринимая разрешенное или предписанное действие, должно учитывать, что уступающее дорогу судно может в любой момент изменить курс или скорость. Поэтому предпочтительны меры, которые не противоречат возможному маневру уступающего дорогу судна, либо настолько значительны, что перекрывают его неблагоприятный маневр.

Маневр по расхождению, своевременный при нормальной видимости, обычно является запоздалым в тумане.

В условиях ограниченной видимости при уклонении от «цели» впереди траверза вначале проверяется возможность изменения курса вправо, затем снижения хода и только при невозможности этих маневров рассматривается уклонение влево. В последнем случае поворот должен быть выполнен раньше, на большую величину и с большим углом руля, чем при уклонении вправо.

В тумане, когда суда идут прямо или почти прямо друг на друга, предпочтительным маневром является изменение курса вправо.

В условиях ограниченной видимости при сближении судов на пересекающихся курсах, когда скорость другого судна значительно выше и нет возможности пересечь его курс заблаговременно, предпочтительным маневром расхождения является уменьшение хода или циркуляция в сторону движения другого судна.

В тумане при сближении с опасной «целью», когда ее курсовой угол мал, предпочтительно изменение курса вправо. При таких левых курсовых углах указанный маневр должен выполняться на большем расстоянии и на больший угол, чем в случае, когда «цель» справа.

В условиях ограниченной видимости при нахождении опасного судна слева на курсовом угле, близком к 90^0 , целесообразно подождать до определенного момента, не предпримет ли оно изменения курса вправо. Если это не произойдет, то разумно повернуть вправо на параллельный курс и значительно уменьшить ход для сокращения времени расхождения.

В тумане для судна, которое при визуальном контакте считалось бы догоняющим, наилучшими действиями будут те же, что и при нормальной видимости, с тем отличием, что они должны предприниматься раньше.

В тумане, когда другое судно находится впереди траверза и не принадлежит к обгоняемым, требование избегать изменения курса влево не является категорическим. Если уклонение вправо опасно по тем или иным причинам, можно повернуть влево. Такое действие должно выполняться раньше и на больший угол, чем поворот вправо.

Особенностью расхождения в узкостях и в системах разделения движения (когда одним судам предписано придерживаться направления движения общего потока, а другим – пересекать его под прямым углом) являются более частые, чем в открытом море, маневры скоростью. Обычная морская практика предъявляет в этих условиях повышенные требования к готовности машин к маневру и к его своевременности, так как изменение скорости требует больше времени и медленнее изменяет ситуацию, чем маневры курсом.

Перечисленные и не вошедшие в их число правила, положения и рекомендации, определяющие поведение судов при расхождении в различных ситуациях, представляют собой часть системы процедурных знаний, которые используются при построении компьютерных систем, вырабатывающих рекомендации по устранению угрозы столкновения.

2. БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ

2.1. Общие сведения

На оживленных трассах, особенно в точках их пересечения, в узкостях, на подходах к портам интенсивность движения может быть очень высокой, когда в быстро изменяющейся обстановке без специальных технических устройств затруднительно обеспечивать безопасное расхождение судов. Наиболее эффективными средствами предотвращения столкновений признаны бортовые комплексы радиотехнических и компьютерных устройств, получившие название бортовых систем предупреждения столкновений (СПС). Английское название этих комплексов – Collision Avoidance System (CAS). Бортовая СПС является апробированной системой, которая основана на использовании сигналов обзорного радиолокатора и других навигационных приборов. Она функционирует независимо от наземного оборудования и представляет информацию о ситуациях, которую могут создать другие суда в различных навигационных условиях. СПС информирует вахтенного помощника об обстановке в районе плавания посредством предоставления визуальной и речевой информации, обеспечивает своевременное обнаружение представляющих угрозу судов, осуществляет классификацию судов по степени их опасности, выдает рекомендации на выполнение соответствующего маневра. СПС осуществляют наблюдение за судами в окружающей акватории в радиусе до 24 миль от собственного судна. Это позволяет определять траекторию относительного движения каждой встречной «цели», оценивать риск столкновения собственного судна с другими объектами, которые появляются в контролируемой акватории. С помощью средств связи может быть проведена с другими судами координация намечаемых маневров.

Основные виды СПС. Бортовые системы предупреждения столкновений получили в мировом флоте широкое распространение в качестве важного инструмента обеспечения требуемого уровня безопасности плавания. В основу их разработки положены стандарты ИМО и рекомендуемая практика технологических процедур, определяющих порядок выполнения операций по расхождению при опасных сближениях. Условно выделяют три вида (поколения) бортовых систем предупреждения столкновений, которые ниже сокращенно обозначаются СПС_I, СПС_{II}, СПС_{III}. Системы третьего вида называются интеллектуальными СПС.

СПС_I включают радиолокатор, гирокомпас, относительный лаг, средства автосопровождения «целей» и прокладки их пути (ССП – средства сопровождения и прокладки). Эта система представляет на экране монитора результаты обработки радиолокационной информации, способствующие принятию действий по расхождению. Но она не располагает возможностью отображения текущего места судна на электронной навигационной карте и

выработки обоснованных рекомендаций по разрешению угрозы столкновения.

СПС_{II} дополнительно к системе первого вида использует данные приемника GPS, транспондера АИС, имеет картографическую базу данных, позволяющую отображать ситуации сближения судов на электронной карте. СПС_{II} не включает экспертную систему и не предоставляет обоснованных рекомендаций по расхождению.

СПС_{III} обладает всеми достоинствами СПС_{II}, но кроме этого, она сопряжена с бортовой системой вождения по маршруту (СВМ) и содержит экспертную систему, вырабатывающую рекомендации довольно высокого качества по мерам предупреждения столкновений. Рекомендация по расхождению представляет собой план движения, обеспечивающий эффективное расхождение с другими судами. Получив такую рекомендацию, судоводитель может ее принять или отвергнуть. При утверждении оператором предложенного плана движения, СПС задает его для отработки системе вождения по маршруту, основной частью которой является авторулевой. Выполнение плана производится в автоматическом режиме под наблюдением оператора.

СПС может быть отдельной системой или представлять собой условно выделяемую из навигационной информационной системы (НИС) или интегрированной системы ходового мостика (ИСМ) часть, предназначенную для решения задач предупреждения столкновений. На судах используются разные виды и конфигурации СПС, включающие аппаратуру разных производителей [15, 17]. Эта аппаратура может отличаться по дизайну, по характеристикам и объему решаемых задач (мощности).

Наиболее распространенным является первый вид систем предупреждения столкновений - СПС_I.

Все шире применяются бортовые системы второго вида, СПС_{II}, в которых средства слежения и прокладки пути «целей» получают информацию от бортовой аппаратуры АИС, приемника GPS, отображают на электронных картах как радиолокационные «цели», так и «цели» АИС. Доля СПС_{II} в общем их количестве на судах составляет порядка 25%.

Появились и представители СПС_{III}, включающие экспертную систему для выработки рекомендаций по расхождению [37, 54, 55].

Основные функции СПС. Слово avoidance, фигурирующее в английском названии системы CAS, обозначает - уклонение, избежание, т.е. предотвращение столкновений в текущей ситуации. Данный термин отражает основную цель СПС, которая состоит не только в том, чтобы предупреждать об опасности столкновения, но, самое главное, обеспечивать возможность выработки эффективных действий по предотвращению столкновений.

СПС служит для решения следующих задач [17]:

- обнаружения объектов;
- автосопровождения «целей» с определением элементов движения и параметров, по которым судят о безопасности расхождения;

- предупреждения об угрозе столкновения и о других, требующих внимания обстоятельствах;
- отображения информации в виде, облегчающем оценку ситуации и выбор маневра расхождения;
- выработки рекомендаций по мерам для предупреждения столкновений.

Процедуры предупреждения столкновений входят в перечень задач, решаемых навигационными информационными системами, такими как ECDIS. В них картографическая информация, данные РЛС и транспондера АИС отображаются в интегрированном виде на одном экране.

Состав СПС. Современные бортовые СПС являются средством информационной поддержки решений судоводителя. Но они не освобождают капитана, штурманский состав от обязанности непрерывного контроля обстановки, ее анализа, от принятия решений и действий по устранению угрозы столкновения, а также от ответственности.

СПС включают следующие основные части:

- аппаратные средства;
- информационное обеспечение;
- программное обеспечение;
- лингвистическое обеспечение.

Аппаратное обеспечение включает датчики информации, устройства ее обработки, дисплеи для отображения обстановки и результатов обработки, интерфейсные приборы для обеспечения совместимости названных средств.

Основными датчиками судовой СПС являются радиолокатор, транспондер АИС, гирокомпас, лаг, приемник GPS. Может обеспечиваться возможность подключения других приборов: флюксгейт компаса, абсолютного лага, эхолота и т.д.

Устройством обработки данных обычно служит персональный компьютер. Необходимая для оценки обстановки и принятия решений информация отображается на дисплеях.

Большинство из находящихся в эксплуатации РЛС не предоставляют информацию в цифровом виде по протоколу Международной электротехнической комиссии. Такие РЛС подключаются к компьютеру с помощью *интерфейсного модуля*. Это аппаратно-программный блок, обеспечивающий СПС возможность работы с РЛС в 3х- и 10ти-сантиметровых диапазонах. Интерфейсный модуль преобразовывает эхосигналы РЛС в цифровую форму, передает их в устройство обработки и позволяет наложить радиолокационное изображение на электронную карту. Кроме того, это устройство дает возможность передавать радиолокационное изображение через сеть Ethernet (или через волоконнооптический канал) на другие компьютеры. Имеются в эксплуатации и РЛС с цифровым выходом.

Информационное обеспечение – это хранящиеся в СПС в структурированном виде данные и знания, требуемые при решении задач предупреждения столкновений, а также средства кодирования, декодирования, сжатия, декомпрессии, упорядочивания информации.

Возможности СПС зависят от ее информационного обеспечения. У последних образцов этих систем оно включает:

- Базу данных, содержащую картографическую, навигационно-гидрографическую, статическую, динамическую, относящуюся к рейсу, включая маршрут информацию о своем судне и другие данные.
- Базу знаний (БЗ) составленную из продукционных знаний для решения задач предупреждения столкновений (включая алгоритмы, положения МППСС-72, правила по управлению судном, рекомендации «хорошей морской практики» и т.д.), которые необходимы для обоснования сценариев расхождения. Для поддержки решений по устранению угрозы столкновений СПС может включать экспертную систему.
- Библиотеку целей, которые могут быть главными при расхождении (остановка движения, маневр курсом, изменение скорости, возвращение к прежнему пути и т.д.).
- Базу моделей, состоящую из функциональных блоков, моделей, планов для типовых ситуаций. С помощью этих структур облегчается оценка обстановки и выработка рекомендаций по расхождению.

База знаний. В СПС_{III} знания наравне с данными являются необходимой компонентой информационного обеспечения. В некоторых предметных областях, в том числе и при предупреждении столкновений судов, невозможно разработать алгоритм получения корректных решений для всех встречаемых на практике ситуаций. О такой области при выработке управляющего решения необходимы определенные знания. В формализованном виде они должны храниться в системе. В компьютере знания так же, как и данные, представляются в знаковой форме - в виде формул, текста, файлов, информационных массивов и т.п.

Источниками знаний о задачах расхождения судов являются МППСС-72, правила хорошей морской практики, книги по судовождению, регламентирующие документы, наставления, т. е. *объективизированные сведения*, переведенные в форму, которая делает их доступными для потребителя.

Другим типом знаний служат *экспертные сведения*, которые имеются у опытных судоводителей, но не зафиксированы во внешних по отношению к ним хранилищах. Экспертные знания субъективны.

Еще один вид знаний - *эмпирические сведения*. Они добываются СПС в процессе функционирования (режим обучения).

Формализация и ввод в базу знаний объективизированных сведений не представляет особой проблемы в отличие от экспертных знаний. Информационная база с экспертными, объективизированными и другими знаниями совместно с механизмом получения решений называется *экспертной системой*.

Следует отметить, что с момента внедрения на судах компьютеров при автоматизации процессов предотвращения столкновений судов уже старались формализовать правила расхождения и использовать их логические модели при выработке рекомендаций по расхождению [28].

Однако мощности первых судовых компьютеров было недостаточно для решения этой задачи в полном объеме. В настоящее время образцы экспертных систем, позволяющих получить обоснованные рекомендации по устранению угрозы столкновений, созданы специалистами ряда фирм.

МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ. Обычно выделяют четыре типа таких моделей:

- логические;
- продукционные;
- сетевые;
- фреймовые.

Логические модели используют язык логики предикатов. В них в качестве элемента знания рассматривается суждение. При использовании логических методов сначала анализируется структура предметной области, затем выбираются соответствующие обозначения и в заключение формируются логические формулы, представляющие собой закономерности рассматриваемой области.

Продукционная модель является развитием логических моделей в направлении эффективности представления и вывода знаний. Они в такой модели представляются в следующей форме: «Если А, то В». Вместо А и В могут стоять факты, события, утверждения, приказы и т.д. Продукционные модели используются в большинстве баз знаний в области расхождения судов.

В основе *сетевых моделей* лежит идея о том, что знания можно представить в виде совокупности объектов (понятий) и связей (отношений) между ними. Совокупность взаимосвязанных понятий образует семантическую сеть. Она представляет знания в виде ориентированного графа, вершинами которого выступают понятия, а ребрами – связи между ними.

Фреймовые модели являются развитием сетевых моделей. Фрейм обычно определяется как минимально возможное описание сущности события, ситуации, процесса или объекта. Каждый фрейм можно рассматривать как семантическую сеть, состоящую из выделенных вершин и связей.

МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ РЕШЕНИЙ. В базах знаний по устранению угрозы столкновений используются три подхода к выработке стратегий расхождения:

- базирующийся на правилах и рекомендациях (RBR – Rule based reasoning);
- основанный на использовании прецедентов (образцов) разрешения опасных ситуаций в прошлом (CBR – Case based reasoning).
- комбинированный (RBR and CBR – Rule and Case based reasoning).

Первый способ популярен при получении решений. Правила обеспечивают формальный способ представления рекомендаций, знаний или стратегий. Они чаще подходят в тех случаях, когда предметные знания возникают из практического опыта, накопленного за годы работы по

решению задач в данной области. Этот метод чаще всего используется при выработке стратегий расхождения в СПС_{III}.

Для реализации второго подхода составляется база образцов расхождения в различных ситуациях. Эти образцы берутся из реальной практики расхождения судов и вырабатываются экспертами на тренажерах. Методика получения стратегии в этом случае предусматривает нахождение характеристик сложившейся действительной ситуации, поиск по ним в базе наиболее близкого образца и адаптацию соответствующего ему плана расхождения к реальным данным.

Программное обеспечение - это совокупность всех программ и пакетов программ, находящихся в памяти СПС. Оно состоит из:

- операционной системы, организующей работу СПС и управление ее ресурсами;
- программных средств для приема и выдачи данных (драйверов), обеспечивающих съем данных с датчиков и выдачу информации на средства отображения, управления и на другие технические устройства;
- прикладного программного обеспечения (библиотеки прикладных программ для решения задач предупреждения столкновений).

Лингвистическое обеспечение включает средства, обеспечивающие общение и взаимопонимание СПС и оператора. Оно включает систему условных обозначений, методы, формы и режимы отображения данных, виды сообщений, предупреждений и запросов, типы ввода данных и т.д.

Требования к аппаратуре СПС. Согласно СОЛАС74 на морских судах валовой регистровой вместимостью 300 р.т. и выше должны быть одна или две РЛС и ССП - средство сопровождения «целей» и прокладки их пути. Эти средства по эффективности подразделяются на три вида:

- электронной прокладки – СЭП (Electronic plotting aid - EPA);
- автосопровождения – САС (Automatic tracking aid - ATA);
- автоматической радиолокационной прокладки – САРП (Automatic radar plotting aid - ARPA).

СОЛАС74 предписывает следующее:

- Все суда от 300 до 500 рег.т должны быть оборудованы РЛС с упрощенным средством электронной прокладки пути «целей» - СЭП.
- На судах 3000 рег.т. и выше необходимой является вторая РЛС.
- На судах вместимостью от 500 до 10 тыс. рег.т. требуется иметь средство автоматического сопровождения «целей» (САС).
- Суда вместимостью 10 тыс. рег.т. и более должны снабжаться САРП.

Бортовую аппаратуру автоматической идентификационной системы (универсальные транспондеры) согласно СОЛАС74 обязаны иметь все совершающие международные рейсы грузовые суда валовой регистровой вместимостью 300 рег.т. и более, каботажные суда вместимостью не ниже 500 рег.т. и пассажирские суда независимо от их размера.

Все средства радиолокационной прокладки дублируют функции РЛС по отображению на экране радиолокационной обстановки в соответствии с выбранной шкалой дальности, режимом стабилизации и ориентации

изображения. Дополнительно, по сравнению с РЛС, они имеют функции обработки радиолокационной информации и отображения ее результатов [3, 15, 17, 32]. Так, например, САРП выполняют следующие операции:

- автоматическое обнаружение эхо-сигналов надводных «целей»;
- ручной или автоматический захват «целей» на сопровождение;
- одновременное автоматическое сопровождение не менее 20 «целей»;
- непрерывное автоматическое определение элементов движения (курса и скорости) и сближения (ДСРА, ТСРА) всех сопровождаемых «целей»;
- проигрывание маневра расхождения со всеми находящимися на автосопровождении СЦ, при условии, что элементы их движения останутся неизменными;
- обнаружение маневра «цели»;
- предупредительная звуковая и световая сигнализация о появлении новой и опасной «цели», о потере и начале маневра «цели», о сближении с ней на установленное предельное расстояние, о неисправной работе, выявившейся при автоматической тестовой проверке и т. д.

Эффективность СПС повышается, когда они способны отображать электронные карты, или когда задачи предупреждения столкновений решаются электронно-картографическими навигационно-информационными системами. Эти средства, кроме данных о «целях», дают подробную информацию о навигационных условиях плавания и производят интегрированное отображение элементов обстановки.

Минимальные эксплуатационные требования к оборудованию СПС изложены в документах ИМО:

- Эксплуатационные требования к РЛС - Резолюция MSC.64(67), 1996, Приложение;
- Эксплуатационные требования к средствам радиолокационной прокладки - Резолюция А.823(19), 1995;
- Эксплуатационные требования к РЛС скоростных судов - Резолюция А.820(19), 1995;
- Временное руководство для представления и отображения информации о АИС-«целях» - ИМО циркуляр SN/Circ.217 от 11.07.01 .

Ряд стандартов на радиолокационные приборы и аппаратуру АИС установлены Международной электротехнической комиссией:

- 60872-1 – стандарты САРП;
- 60872-2 – стандарты радиолокационных средств автосопровождения;
- 60936-1 – стандарты судовых РЛС;
- 60936-2 – стандарты РЛС высокоскоростных судов;
- 61993-2 – тестовые стандарты АИС транспондеров класса А;
- 62287 – тестовые стандарты АИС транспондеров класса В.

2.2. Декомпозиция задачи СПС

Одним из важных свойств систем поддержки принятия решений, как и всех автоматизированных систем, является «открытость». Она состоит в возможности подключения дополнительного оборудования и организации его работы в составе системы. Это свойство определяет способность системы к расширению функций, к модернизации, к дальнейшей автоматизации процессов в той или в другой предметной области. Открытость системы обеспечивается единой дискретной основой ее частей, стандартизацией оборудования, структуризацией (модульным построением) аппаратного, информационного, программного обеспечения и рядом других мер.

Структуризация прикладного программного обеспечения состоит в выделении блоков, модулей, процедур, которые могут применяться как отдельно при решении простых вопросов, так и совместно при выполнении сложных задач. Деление этого обеспечения на автономные части основывается на *декомпозиции решаемой системой* задачи, т.е. представлением ее совокупностью упрощенных задач. При выполнении этой операции вначале исходная задача системы делится на несколько основных, по возможности самостоятельных задач (задач первого уровня). Затем каждая из основных задач представляется более простыми задачами второго уровня. Последние также делятся. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не исчезнет в нем смысла.

Два уровня одного из вариантов декомпозиции задачи бортовой СПС показаны на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Декомпозиция задачи СПС

Модули второго уровня могут быть представлены более мелкими процедурами.

Первая группа задач второго уровня включает три задачи.

Формирование ограничений состоит в определении областей (см. параграф 1.2):

- наблюдения;
- охранной;
- запретной;
- взаимных обязанностей судов;
- движения и маневров.

В простейшем варианте зона наблюдения, охранная и запретная акватории считаются круговыми с центром в месте собственного судна. Контур первой области соответствует номиналу используемой шкалы дальности. Вторая зона задается значением охранной дистанции и служит для выработки предупреждений о появлении объектов, требующих повышенного внимания. Границы запретной зоны определяются допустимым расстоянием (d^S) кратчайшего сближения.

Пространство взаимных обязанностей судов характеризуется пределом времени (t^S) до момента кратчайшего их сближения.

Область движения и маневров является безопасной в навигационном отношении акваторией, границы которой не будут пересекаться судном при выполнении маневра расхождения.

В СПС_I, СПС_{II} решение рассматриваемой задачи не предусматривается. Границы названных областей определяются оператором и вносятся в память системы. В СПС_{III} характеризуемые ограничения формируются экспертной системой в зависимости от условий плавания и выдаются оператору для коррекции и утверждения.

Контроль движения «целей» состоит в их обнаружении, мониторинге положения и элементов движения, в выявлении и выделении маневрирующих судов.

Обнаружение опасной «цели» и определение степени риска заключается в прогнозе перемещения «целей» и собственного судна, в установлении наличия угрозы столкновения и степени риска.

Вторая группа задач в полном объеме решается в СПС_{III} с помощью экспертной системы. В системах низших поколений эти задачи представлены частично.

Классификация «целей» состоит в выделении опасных, потенциально опасных, лимитирующих маневры, безопасных судов, а также самой опасной (главной) «цели».

Оценка вида ситуации заключается в ее идентификации по геометрии сближения судов (обгон, пересечение курсов, прямо или почти прямо друг на друга; впереди траверза, на траверзе, позади траверза).

Определение участка заблаговременных мер состоит в выделении на линии пути судна оператора отрезка, на котором его действия по отношению

к главной «цели» с большой вероятностью будут считаться заблаговременными, но не преждевременными.

Оценка вида «цели» по влиянию на выбор маневра СО состоит в установлении, что «цель» определяет (является главной) либо не определяет меры по предупреждению столкновения.

В первом случае выделяются виды главных «целей», по отношению к которым судно оператора:

- не находится еще на участке заблаговременных мер, но будет обязано на нем сохранять курс и скорость;
- не находится еще на участке заблаговременных мер, но должно будет на нем предпринять маневр расхождения;
- находится на участке заблаговременных мер и обязано сохранять K и V ;
- находится на участке заблаговременных мер и должно предпринять маневр расхождения.

Представление информации оператору включает ее агрегирование (фильтрацию, объединение, сжатие) для возможности создания адекватного, наглядного образа обстановки и в отображении обобщенных данных в виде, облегчающем понимание ситуации и выбор действий по расхождению.

Третья группа задач решается только в СПС_{III}. Без базы знаний они не могут быть выполнены на требуемом уровне.

Формирование критерия эффективности. Критерий эффективности представляет собой совокупность норм, по которым судят об успешности достижения цели. При разных начальных условиях задачи эти нормы могут отличаться. Так при предупреждении столкновений они зависят от ситуации, образуемой судами, границами судоходной акватории, погодными условиями. Формирование критерия эффективности состоит в выборе его норм, отвечающих сложившейся ситуации.

Определение множества допустимых решений обычно заключается в нахождении безопасных стратегий расхождения с помощью формируемых в ОДМ виртуальных зон, отражающих ограничения, накладываемые «целями» на действия судна оператора.

Поиск и представление эффективной стратегии. Поиск заключается в нахождении среди допустимых решений стратегии, критерий эффективности которой максимален. Для определения такого варианта расхождения используются разные методы. Кратко они представлены в параграфе 2.6. Так как при определении наилучшей стратегии система не может учесть все особенности ситуации, то эта стратегия представляется оператору для корректировки и утверждения.

2.3. Типы d -критерия опасности объектов

Судовые домены. Показатель угрозы объекта в виде прогноза минимальной дистанции расхождения с ним называется d -критерием.

В процессе выполнения перехода стараются, чтобы к судну не были чрезмерно близки другие объекты. Для установления такой опасности

обычно используют окружающую судно и жестко связанную с ним область. Ее обычно называют *судовой домен* (англ. domain). Попадание объекта в домен судна трактуется как угроза его движению.

Судовые домены предложено использовать для оценки навигационной безопасности Е.М.Гудвиным (Goodwin E.M. A statistical study of ship domain, Journal of Navigation, 28, 1975). В настоящее время при исследовании проблемы предупреждения столкновений судов рассматриваются различные виды доменов. Они могут быть круговыми, эллиптическими, в виде полигонов или более сложных фигур (рис. 2.2).

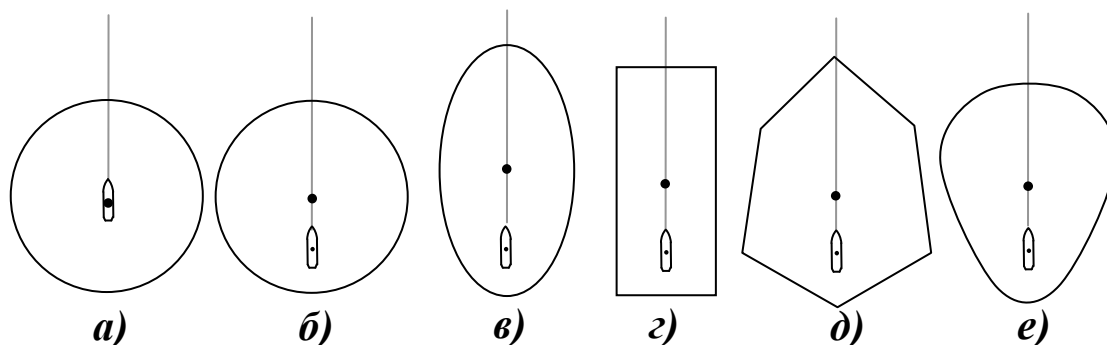


Рис. 2.2. Возможные формы домена судна

Границу домена можно рассматривать как функцию курсового угла q судна

$$d^S = C \cdot f_d(q), \quad (2.1)$$

где d^S - расстояние от точек границы домена до центра массы судна;

C - коэффициент, учитывающий особенности ситуации.

Оптимальные форма и размеры домена опасности зависят от многих факторов, что затрудняет его определение.

Несмещенный круговой домен. Преобладающее применение в СПС нашел круговой домен с центром в месте судна (см. рис. 2.2,а) благодаря одинаковому расстоянию от судна до точек границы домена. Для него $f_d(q)$ является постоянной величиной и, соответственно, d^S не зависит от курсового угла. Такой домен называется несмещенным. Его граница задается одним значением d^S расстояния кратчайшего сближения.

Недостаток несмещенного домена круговой формы состоит в том, что он не отражает отличия по степени опасности объектов, появляющихся на его границе на носовых и кормовых курсовых углах. Известно, что объекты в носовом секторе судна представляют большую угрозу, чем объекты в кормовом.

Другие виды судовых доменов. Чтобы учесть распределение степени риска в зависимости от курсового угла появления объектов, применяются домены разной формы и стабилизации по судну. Представители некоторых из них показаны на рис. 2.2,б-е. При использовании таких областей

допустимое расстояние кратчайшего сближения (d^s) зависит от геометрии сближения с объектом.

Принцип определения d^s в этом случае характеризуется на примере эллиптического домена со смещенным центром. При оценке угрозы столкновения судов A и B (рис. 2.3) домен образуется у каждого из них.

Ситуация сближения безопасна, когда относительный курс k_A судна A не пересекает границу домена судна B , и, когда относительный курс k_B последнего судна не пересекает домена первого ($k_B = k_A \pm 180^\circ$).

Из этого условия следует, что суда не будут представлять друг для друга угрозы, когда расстояние \vec{d} кратчайшего сближения между ними будет больше как значения d^{sA} , так и d^{sB} (см. рис. 2.3)

$$\vec{d} > d^s, \text{ где } d^s = \text{MAX}(d^{sA}, d^{sB}).$$

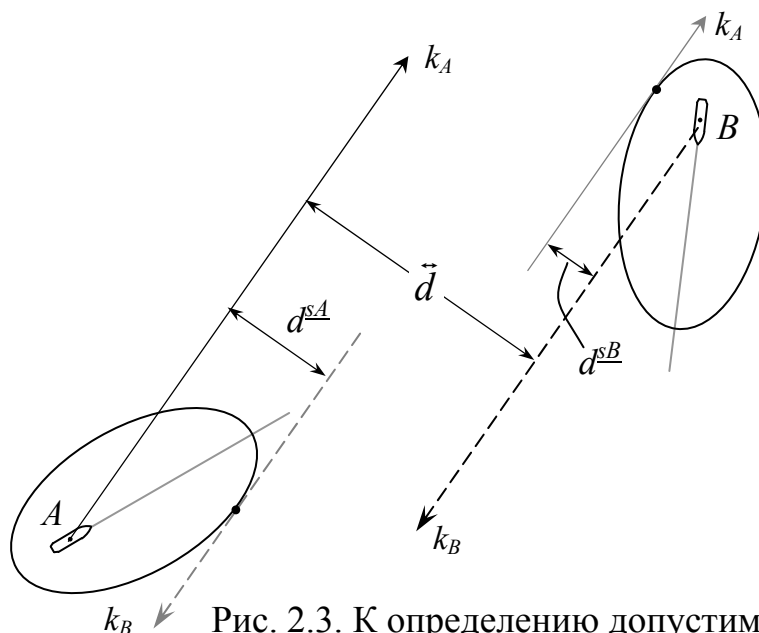


Рис. 2.3. К определению допустимого расстояния кратчайшего сближения

Недостатками доменов, отличающихся от несмещенных круговых, являются:

- усложнение оценки ситуаций и выбора действий для безопасного расхождения;
- ухудшение наглядности графического изображения ситуации, и затруднение глазомерной оценки ее опасности с помощью линий относительного движения;
- не учет, что в разных ситуациях оптимальный домен изменяет не только размеры, но и форму.

В данной книге в качестве d -критерия опасности используется несмещенный круговой домен, при котором условие наличия угрозы столкновения имеет вид

$$\vec{d} \leq d^s;$$

где d^s - задаваемое судоводителем значение, определяющее границу безопасных значений ДСРА.

Нечетко задаваемые домены. При рассмотрении задач предупреждения столкновений применяют и нечеткие домены, позволяющие не только установить наличие угрозы, но и определить ее степень. Не требует доказательства, что чем больше по размерам судовой домен (коэффициент C в формуле 2.1), тем меньше угроза от объектов, находящихся на его границе, и тем выше уровень безопасности стратегий расхождения, определяемых в зависимости от этих границ.

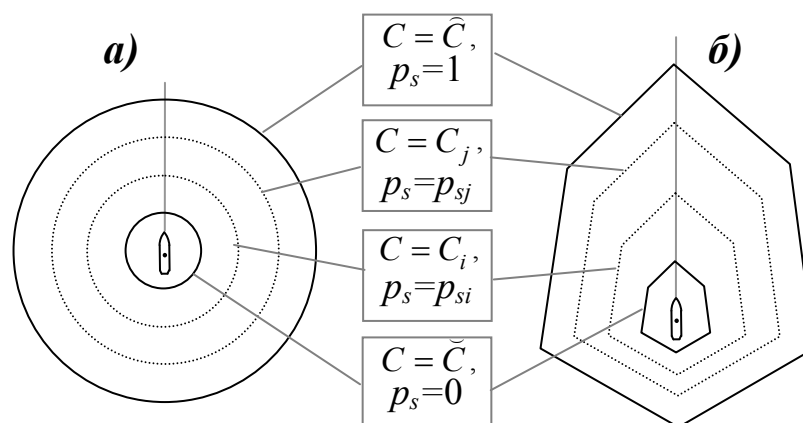


Рис. 2.4. Нечеткое задание домена судна

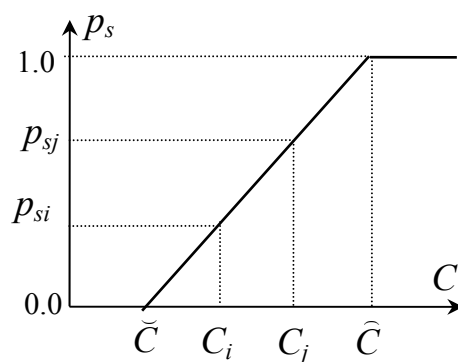


Рис. 2.5. Функция принадлежности к безопасным значениям

Допустим, при рассмотрении доменов двух видов (рис. 2.4) экспертами считается, что при значении $C \geq \hat{C}$ в формуле 2.1 степень безопасности расхождения можно принять равной единице ($p_s = 1$); а если $C \leq \tilde{C}$, то $p_s = 0$. Например, для несмещенного кругового домена в СПС₁ границы \hat{C} и \tilde{C} приблизительно соответствует значениям d^s тридцать и пять кабельтов.

Степень безопасности, соответствующая значениям $\check{C} < C < \hat{C}$, находится с помощью подходящей функция принадлежности (ФП), вид которой определяется экспертами. Наиболее часто такую функцию берут в виде, показанном на рис. 2.5.

2.4. Требования к отображению информации

Отображение информации является одной из ключевых проблем, определяющих эффективность практического использования СПС на судах и в береговых центрах управления движением. Особое значение эта проблема имеет для судов, где необходима строгая унификация и стандартизация всех аспектов отображения, включая интеграцию радиолокационной, картографической и других видов информации. При выдаче данных оператору должна быть обеспечена их полнота и, в то же время, минимизация до необходимого и достаточного для выработки правильного решения объема. В отображении информации лицу, принимающему решение, основным является удобство восприятия, обеспечивающее простое, без напряжения, быстрое и безошибочное понимание сложившейся в процессе управления ситуации. Трудности при восприятии информации ведут, в конечном счете, к увеличению времени на принятие решения и к снижению его эффективности.

Используемые на судах СПС отличаются не только конструктивными особенностями аппаратуры разных производителей и объемом решаемых задач, но и отображением данных [3]. Последнее обстоятельство проявляется в условных обозначениях и сокращениях, в видах и формах сообщений и предупреждений, в используемых цветах и в других деталях. Основным отличием отображения данных в многочисленных образцах СПС считается, по частям на экранах разных входящих в СПС устройств, или интегрировано на одном дисплее представляется ситуация судоводителю.

Когда данные об обстановке показываются частями на нескольких устройствах отображения, то ее общий образ приходится составлять умозрительно, что не всегда удается сделать должным образом. Кроме того, нередко на мостике находится только вахтенный помощник. Когда ему требуется в целом оценить ситуацию, необходимость обращения ко многим устройствам отображения и составления по их данным общей картины обстановки – явный недостаток комплекса навигационных средств. Об этом говорит и анализ отчетов по авариям судов. Ряд из них можно было избежать при наличии общей картины, характеризующей одновременно опасность столкновения и риск посадки на мель.

Одной из целей автоматизации судов является уменьшение их экипажей и предоставление возможности вахтенному помощнику одному обеспечивать безопасное и эффективное судовождение в большинстве судоходных районов. Поэтому на автоматизированных судах сложившаяся обстановка должна показываться в целом, на одном экране. Отсюда следует, что в общем

случае на мостике целесообразно иметь дисплей, отображающий все стороны навигационной обстановки.

Интегрированное отображение информации в СПС. В процессе развития СППР были сформулированы общие требования к интегрированному отображению информации, которые относятся и к СПС. Главным из этих требований является обеспечение оператору возможности хорошего знания обстановки. Оно состоит в легком восприятии элементов окружающей среды и состояния объекта управления в пространственном и временном измерении, в простой расшифровке значений этих элементов, в возможности оперативного прогнозирования ситуаций на ближайшее будущее. Знание обстановки включает в себя следующие требования к представлению данных:

- отображение информации должно быть оперативным и характеризовать ситуацию на текущий момент времени без существенного запаздывания;
- представление ситуации должно быть наглядным, т.е. четким, ясным, незагроможденным второстепенными деталями с выделенной важной информацией;
- отображение должно быть полным, т.е. давать, по возможности, достаточную информацию для принятия решений;
- отображение должно быть адекватным, т.е. отражать существенные для решаемой задачи стороны ситуации с требуемой точностью;
- необходимо иметь возможность прогноза развития ситуации на определенное время вперед и результатов намечаемых действий;
- дополнительная информация, которая может понадобиться в связи с решаемой задачей, должна быть «под рукой»;
- отображаемые данные должны оказывать существенную помощь при выборе решений.

Отрицательно влияют на глубину понимания ситуации при изучении ее по изображению на экране следующие факторы:

- Неполнота данных;
- Рассредоточение информации об обстановке;
- Недостатки условных обозначений;
- Зашумленность изображения ненужной информацией.

Перед отображением информация в СППР должна агрегироваться (фильтроваться, объединяться и сжиматься) с целью обеспечения как полного, так и незагроможденного ненужными и второстепенными деталями представления данных. Основная задача агрегации – отбор существенного для сложившейся ситуации и представление его в концентрированной форме.

Необходимо иметь эффективные средства предсказания развития обстановки и наглядного отображения прогнозов. Качество выполнения этой операции должно соответствовать целям решаемых задач.

Отображение на дисплее следует дополнять автоматической сигнализацией, визуальными и речевыми предупреждениями об элементах обстановки, требующих внимания или действий оператора. Предупреждения,

вырабатываемые СППР, снижают роль субъективного фактора и обеспечивают своевременность принятия необходимых решений.

Кроме общих для всех СППР требований имеются стандарты отображения данных в системах, используемых в конкретных областях. К интегрированному представлению навигационной информации такие стандарты определены Международной электротехнической комиссией. Они относятся к средствам отображения, которые входят в ECDIS, в радиолокационное оборудование, в навигационные комплексы и в интегрированные системы ходового мостика. Дополнительно такие устройства могут представлять сведения, поступающие от других систем: данные АИС, морскую информацию по безопасности и т.д.

Согласно требованиям, когда устройство интегрированного отображения показывает информацию многих средств, то должны указываться названия источника каждого вида данных. Целостность исходной информации при отображении необходимо сохранять. Представление на экране системы сведений из многих источников должно быть согласованным. Противоречивость и спутывание данных следует исключить.

Требуется, чтобы тревожные сообщения и визуальная сигнализация соответствовали стандартам ИМО в отношении индивидуальных систем. Когда на одном дисплее отображается информация, поступающая от многих систем, виды звуковой и визуальной сигнализации должны быть увязаны между собой.

При отображении на мостике судна относящейся к навигации информации следует применять установленные МЭК стандартные термины и сокращения. Относящиеся к задачам предупреждения столкновений аббревиатуры приведены в табл. 2.1. Они могут комбинироваться, например, «DCPA LIM».

Если не оговорено иное, то для сокращений могут использоваться как большие, так и малые буквы. Аббревиатура, образованная из первых букв слов, должна представляться большими буквами.

Для единообразного отображения элементов прокладки МЭК предложила условные обозначения, приведенные в табл. 2.2. Пояснения к отдельным из них даны ниже.

Символ собственного судна – это выделяющийся условный знак, который предназначен для указания на карте позиции собственного судна. Выраженным в масштабе символом судно показывается на карте в крупном масштабе, чтобы оценивать на дисплее расстояние до препятствий при плавании в узкостях и по фарватерам.

Таблица 2.1. – Основные сокращения для СПС

<i>Термины</i>	<i>Сокращения</i>	<i>Термины</i>	<i>Сокращения</i>
Acquire – выбрать (захватить) на сопровождение	ACQ	Acquisition Zone – зона захвата целей на сопровождение	AZ
Aft Crossing Range – дистанция пересечения линии пути по корме	ACR	Aft Crossing Time - дистанция пересечения линии пути по корме	ACT
Automatic Identification System – автоматическая идентификационная система	AIS	Automatic Radar Plotting Aid – средства автоматической радиолокационной прокладки	ARPA
Automatic Tracking Aid – средства автосопровождения	ATA	Bearing – пеленг	BRG
Bow Crossing Range – дистанция пересечения линии пути по носу	BCR	Bow Crossing Time - дистанция пересечения линии пути по корме	BCT
Course To Steer – курс для следования	CTS	Course Over The Ground – курс относительно грунта	COG
Display Brilliance – яркость отображения	BRILL	Course Up – ориентация по курсу	C UP
Distance at Closest Point Of Approach – дистанция кратчайшего сближения	DCPA	Distance - расстояние	DIST
Echo Reference Speed – относительная скорость по данным РЛС	REF SOG	Electronic Bearing Line – электронный визир	EBL
Electronic Navigational Chart – электронная навигационная карта	ENC	Electronic Plotting Aid – электронные средства прокладки	EPA
Ground Stabilized – стабилизировано по грунту	GND STAB	Guard Zone – охранная зона	GZ
Heading Line – линия курса	HL	Head Up – ориентация по курсу	H UP
Lost Target – потеря цели	LOST TGT	Manoeuvre Time – время маневра	MVR TIME
North Up – ориентация по норду	N UP	Own Ship – собственное судно	OS
Parallel Index Line – параллельные индексные линии	PI	Past Positions – последняя позиция	PAST POSN
Predicted Point Of Collision – предсказанная точка столкновения	PPC	Predicted Area Of Danger – предсказанная зона опасности	PAD
Radar – РЛС	RDR	Radar Plotting – радиолокационная прокладка	RP
Range Rings – неподвижные круги дальности	RR	Relative Course – относительный курс	R CSE
Relative Motion – относительное движение	RM	Relative Motion (Relative Trails) – стабилизация изображения по СО и следы относительного движения	RM (R)
Relative Motion (True Trails) – стабилизация изображения по СО и следы истинного движения	RM (T)	Relative Vector – относительный вектор	R VECT
Speed Over The Ground – скорость относительно грунта	SOG	Speed Through The Water – скорость относительно воды	STW
Target - цель	TGT	Time To Closest Point Of Approach – время до точки кратчайшего сближения	TCPA
Trails - следы		Trial Manoeuvre – проигрывание маневра	TRIAL
True Bearing – истинный пеленг	T BRG	True Course – истинный курс	T CSE
True Motion – истинное движение	TM	True Speed – истинная скорость	T SPD
True Vector – истинный вектор	T VECT	Variable Range Marker – подвижный маркер дальности	VRM
Vector – вектор	VECT	Vector Time – время вектора	VECT TIME

Таблица 2.2. - Стандартные символы объектов

Объект	Символ	Объект	Символ
<i>Собственное судно</i>		<i>Цели САРП</i>	
Судно оператора (собственное судно)		Цель САРП	
Контур нашего судна в масштабе карты		САРП-цель с вектором скорости	
Место антенны нашего судна		Цель в промежутке "захвата"	
Курсовая линия нашего судна		Опасная САРП-цель (красный цвет)	
Траверзная линия нашего судна		Потерянная САРП-цель	
Вектор скорости нашего судна		САРП-цель в охранной зоне	
Стабилизация относительно воды		Выбранная цель	
Стабилизация относительно грунта		Прошлый путь САРП-цели	
Прогноз пути		<i>АИС-цели</i>	
Прошлый путь по главному источнику		Пассивное состояние АИС-цели	
Прошлый путь по вторичному источнику		Активированная цель	
<i>Инструментарий</i>		Контур АИС-цели в масштабе карты	
Маркер		Место антенны АИС-цели	
Визирная линия	Вид, цвет, форма по усмотрению производителя	Опасная цель (красный цвет)	
Визирная линия со смещенным центром	Точечная линия	Потерянная АИС-цель	
ПКД	Круг с центром в месте СО	Выбранная АИС-цель	
НКД	Сплошные окружности.	Линия курса активированной цели	
Параллельные индексные линии	Должны отличаться от визирной линии.	Индикатор поворота	
Линии упрощенных карт	Разрешено иметь на индикаторе РЛС, если нет данных СЭК	Вектор скорости активированной цели	
Зона опасности цели САРП	Необязательный шестиугольник или эллипс.	Стабилизация: вода/грунт	Требуется указывать в пользовательском интерфейсе.
Зона захвата целей в САРП	Сплошная линия, ограничивающая зону.	Прогноз траектории поворота	
Охранная зона в САРП	Сплошная линия, ограничивающая зону.	АИС-цель, курса или ПУ или V нет	
Проигрывание маневра в САРП	Большое Т на экране.	Прошлый путь АИС-цели	

Пассивная (деактивированная) «цель» – условный знак, указывающий место и ориентацию судна, оборудованного бортовой аппаратурой АИС. Никакой добавочной информации у символа не приводится, чтобы не перегружать экран.

Активированная «цель» – символ АИС-цели с графическим отображением дополнительной информации, включающей:

- *вектор скорости судна относительно грунта;*
- *направление диаметральной плоскости (истинный курс);*
- *скорость поворота или направление поворота (если возможно), чтобы сообщить, что курс «цели» изменяется.*

Выбранная «цель» – условный знак судна, выбранного вручную для отображения в цифровом виде детальной информации о нем на специальной панели дисплея.

Опасная «цель» – символ судна, вычисленные DCPA и TCPA которого меньше установленных безопасных пределов. Отображаемый условный знак имеет жирный красный контур, размер которого может быть больше значка обычной «цели». При появлении опасной «цели» ее символ мигает до тех пор, пока судоводитель не подтвердит, что заметил эту «цель».

Потерянная «цель» – условный знак, представляющий последнюю действительную ее позицию перед тем, как данные о ней перестали поступать.

При совместном отображении информации АИС, РЛС, ССП рекомендуется соблюдать следующие принципы.

Символы «целей» АИС и радиолокационного сопровождения должны четко различаться друг от друга (цветом, формой или размерами), и первые не должны ухудшать наблюдение эхосигналов и вторых символов.

Данные «цели», получаемые от нескольких источников, должны четко различаться между собой. Задаваемые значения параметров отображаемых векторов «целей» для этих источников должны быть одинаковы.

Установленный режим индикации (ориентация изображения по курсу или по меридиану, неподвижный или движущийся символ собственного судна) должен распространяться как на радиолокационные «цели», так на «цели» АИС.

Требуется, что зоны автозахвата радиолокационных СЦ действовали для активации «целей» АИС. При вхождении в такую зону «спящая цель» АИС должна становиться «активной».

Установленные оператором значения безопасных пределов DCPA и TCPA должны быть едиными для «целей» РЛС и АИС. Сигнализация о представляющей угрозу «цели» должна действовать по каждому источнику информации о ней, независимо от выполнения условия опасности по другим.

Чтобы избежать отображения двух символов одной и той же «цели», может быть предусмотрен режим автоматического по определенному критерию выбора на отображение «целей» РЛС или АИС. Когда критерий выполняется, должны показываться данные АИС.

Отображение данных РЛС. Требования к интегрированному отображению данных в навигационных системах являются дополнением к эксплуатационным стандартам ИМО для отдельных навигационных устройств. Положения этих стандартов должны соблюдаться как при раздельном, так и интегрированном отображении информации в СПС.

Стандарты, которым должны соответствовать РЛС обычных судов, содержатся в Резолюции ИМО MSC.64(67),1996 (Приложение 4) – «Эксплуатационные требования к РЛС». Условия, которым должно удовлетворять радиолокационное оборудование высокоскоростных судов, определены Резолюцией ИМО А.820(19), 1995 – «Эксплуатационные требования к РЛС высокоскоростных судов». Ниже из этих документов приведены выдержки, относящиеся к отображению информации.

Для пользования при дневном свете без внешнего увеличения радиолокатор должен иметь дисплей с *эффективным минимальным диаметром* в пределах шкалы пеленгов не меньшим, чем:

- 180 мм для судов вместимостью 150-1000 брт.;
- 250 мм для судов вместимостью 1000-10000 брт.;
- 340 мм для судов вместимостью 10000 брт. и выше.

Разрешается применение цветных мониторов.

Обязательны для РЛС *шкалы дальности*: 0.25, 0.5, 0.75, 1.5, 3, 6, 12 и 24 мили. Шкалы дальности с другими номиналами допускаются. Необходимо обеспечить четкую индикацию номинала используемой шкалы дальности и расстояния между неподвижными кругами дальности (НКД), когда они отображаются.

В пределах эффективной площади экрана должна содержаться только информация, которая используется для навигации или предупреждения столкновений, а также элементы, имеющие отношение к «целям» (например, символ «цели», ее вектор) или к изображению.

Необходимо предусматривать *цвета, характерные для дня и ночи* с возможностью регулировки яркости.

Требуется иметь возможность *смещения центра развертки*, по меньшей мере, на 50% и не более 75% от номинала шкалы дальности.

Оборудование должно позволять в дополнение к информации радиолокатора представлять на экране *графические элементы*, например, точки поворота и линию пути между ними. Источник графической информации необходимо четко указывать.

Требуется, чтобы шкалы дальности были линейными с началом в месте собственного судна. Изображаемая на экране информация должна легко читаться при всех условиях освещенности.

Выбранные *элементы системной электронной навигационной карты* (СЭК) могут быть представлены на дисплее РЛС, но таким образом, чтобы радиолокационная информация не маскировалась, не затемнялась и не искажалась. Информация СЭК, показываемая на экране радиолокационной системы, должна, по крайней мере, включать безопасную изобату

собственного судна, навигационные препятствия, стационарные и плавучие средства навигации.

Предписывается иметь на экране *электронные НКД* для оценки расстояний, причем на шкалах 0.25, 0.5, 0.75М должно быть, по крайней мере, два, но не свыше шести НКД. На шкалах большего номинала следует иметь шесть НКД. При смещении центра развертки должны отображаться дополнительные кольца дальности с интервалом, равным интервалу между основными НКД.

Радиолокационное изображение необходимо снабжать *подвижным маркером дальности* в виде кольца (ПКД) с индивидуальным цифровым индикатором. Допускаются добавочные ПКД.

Курсовая линия на экране дисплея должна быть сплошной, проводиться от начала развертки до края дисплея с ошибкой, не более $\pm 1^0$. Требуется, чтобы ее толщина не превышала 0.5^0 на максимальном расстоянии шкалы. На шкале пеленгов дисплея РЛС предписано иметь *указатель курса*.

В радиолокационной системе должен быть *электронный визир* для снятия направлений (пеленгов и курсовых углов), имеющий индивидуальный цифровой индикатор. Этот визир должен быть не толще курсовой линии и отличаться от нее. Предписывается иметь возможность изменения яркости и выключения этого визира. Получаемое с помощью электронного визира направление должно индексироваться в градусах, а отсчет состоять, по крайней мере, из четырех знаков, один из которых после десятичной точки. Предписывается иметь возможность измерения, как пеленгов, так и курсовых углов, отсчеты которых должны отличаться. Рекомендуется на этом визире иметь ПКД.

Для параллельной индексации нужно иметь, по крайней мере, две линии.

Проигрывание маневров «целей» требуется представлять на экране в виде синтезированного послесвечения. Проигрывание может быть в истинном или в относительном движении. В истинном движении изображение может быть стабилизировано относительно моря или грунта.

Представление информации в САРП. Стандарты средств радиолокационной прокладки определены резолюцией ИМО А.823(19), 1995 – «Эксплуатационные требования к САРП».

Индикатор (дисплей) САРП может быть отдельным устройством или общей частью РЛС. Требуется, чтобы в любом случае индикатор САРП отображал информацию в соответствии с требованиями ИМО к радиолокационному оборудованию. Конструкция индикаторов САРП должна быть такой, чтобы выход из строя любого узла, выдающего дополнительную информацию к данным РЛС, не нарушал изображения на экране основного радиолокатора.

Обязательными для САРП являются шкалы дальности 3, 6, 12 миль. Дополнительно могут быть шкалы с другими номиналами. Необходимо обеспечивать четкую индикацию номинала используемой шкалы.

Требуется, чтобы у САРП был режим относительного движения с ориентацией изображения «север», «курс» и «курс стабилизированный».

Дополнительно может быть режим истинного движения. Оператор должен иметь возможность переключения этих режимов. Необходима индикация на экране названия активного режима движения.

Информация о курсе и скорости должна отображаться в векторной или графической форме, четко указывающей ожидаемое перемещение сопровождаемого объекта.

У САРП, отображающих прогноз развития ситуации в векторной форме [3, 32], должна быть возможность выбора векторов истинного или относительного движения. При выборе истинных векторов на экране должен указываться вид стабилизации изображения (относительно грунта или моря).

САРП, способные отображать информацию о курсе и скорости объекта в графической форме, должны, по возможности, предоставлять такие данные в виде истинного или относительного векторов.

Векторная информация должна экстраполироваться по времени или иметь фиксированную временную шкалу. Такая шкала должна быть ясно обозначена метками на самом векторе.

Если для получения элементов движения относительно грунта используются стационарные объекты, то они должны обозначаться соответствующими символами. В этом режиме относительные вектора сопровождаемых целей, включая вектора упомянутых стационарных объектов, должны отображаться по требованию.

Необходимо, чтобы информация САРП не затеняла данные РЛС и не ухудшала способности обнаружения объектов. Должны быть предусмотрены отдельные регулировки яркости изображений САРП и РЛС, включая возможность выключения данных, предоставляемых САРП.

Требуется, чтобы аппаратура САРП обеспечивала возможность надежного наблюдения одному или большему числу операторов в условиях нормальной освещенности в дневное и ночное время. Допускается использование различных светозащитных устройств, не мешающих наблюдению. Необходимо иметь устройства для регулировки яркости.

При переключении шкал дальности векторная или графическая информация должна четко наблюдаться на экране через четыре оборота антенны РЛС и не затеняться изображением предыдущей шкалы дальности.

В САРП необходимо предусматривать предупредительную звуковую и световую сигнализацию. Она должна включаться, когда любой объект сблизится с судном оператора на заданное расстояние или пересечет охранную зону, установленную судоводителем. Объект, вызвавший включение сигнализации, должен быть четко выделен на экране.

Требуется, чтобы САРП предупреждали оператора с помощью визуального или звукового сигнала о любом сопровождаемом объекте, который имеет вычисленные значения ДСРА и ТСРА, меньшие безопасных пределов, установленных судоводителем. Сигнализация должна также включаться в случае сброса объекта с автоматического сопровождения по любой причине, кроме выхода за пределы шкалы дальности. Следует выделять такой объект на экране. Система предупредительной сигнализации

должна иметь возможность включения и отключения ее по усмотрению судоводителя.

Требуется, чтобы наблюдатель мог выбрать любую сопровождаемую «цель» для получения о ней информации в цифровом виде. Такие «цели» должны быть обозначены соответствующим символом на экране. Если требуется информация более чем по одной «цели» в одно и то же время, то их символы должны быть идентифицированы, например, номером. По требованию оператора оборудование должно немедленно по любому сопровождаемому объекту выдавать в буквенно-цифровом виде текущие значения: *дистанции и пеленга; курса и скорости; ДСРА и ТСРА*. Для курса и скорости должно быть указано, даны они относительно моря или грунта.

Если представляются цифровые данные нескольких «целей» сразу, то не менее двух параметров каждой «цели» следует показывать одновременно. Эти данные должны быть сгруппированы следующим образом:

- дистанция и пеленг;
- курс и скорость;
- ДСРА и ТСРА.

В САРП должна предусматриваться возможность имитации маневра собственного судна на расхождение со всеми сопровождаемыми «целями» с упреждением по времени или без него. При этом обработка и отображение буквенно-цифровой информации по сопровождаемым «целям» не должны прерываться. Название режима имитации, если он применяется, необходимо показывать на экране.

Отображение данных АИС. Ниже перечислены основные положения, которые должны соблюдаться при отображении информации АИС [10, 18].

Насколько это практически возможно, пользовательский интерфейс АИС должен быть аналогичным соответствующим интерфейсам других навигационных средств. В частности, по аналогии с САРП в АИС информация может отображаться в векторной форме с оценкой опасности чрезмерного сближения по критериям ДСРА и ТСРА.

Транспондер АИС должен предоставлять оператору возможность обозначать «цель» на экране условным кодом (номером), ее названием или позывным. Кроме того, оператор должен иметь возможность вызова дополнительной информации АИС по каждой «цели» или по нескольким «целям» одновременно. Эту информацию необходимо отображать в отдельном окне вне активного рабочего поля экрана. О неполноте принятых данных «целей» следует сообщать индикацией.

Необходимо иметь два вида перехода от «спящих целей» к «активным» (и наоборот):

- вручную с выбором «цели» оператором;
- автоматически в заданной зоне.

Когда рассчитанные значения ДСРА, ТСРА «целей» (включая «спящие») становятся меньше установленных пределов, символы «целей» должны преобразоваться в символы «опасных целей» и включиться предупредительная сигнализация. Если данные от опасной «цели» не

принимаются в течение установленного времени, то в ее последней позиции должен появиться символ «потери цели» и включиться предупредительная сигнализация. Он должен исчезнуть после подтверждения оператором приема предупреждения.

На малых шкалах дальности основной символ «цели» АИС (треугольник) может автоматически заменяться ее контуром, выраженным в масштабе изображения обстановки.

Информация АИС в графическом виде может отображаться на следующих типах дисплейных устройств:

- на индикаторе судовой РЛС или дисплеях с функциями радиолокационной прокладки (САРП);
- на дисплее электронной картографической системы;
- на дисплеях интегрированных навигационных систем (INS – Integrated Navigation System) или интегрированных систем мостика (IBS - Integrated Bridge System);
- на специализированных дисплеях операторов СУДС, систем судовых сообщений и других береговых служб.

Поскольку основным назначением АИС является предупреждение столкновений, то отображение информации этой системы целесообразно, в первую очередь, на судовых дисплеях (РЛС, САРП), традиционно применяемых при решении названной задачи. Одним из доступных средств для отображения информации АИС на борту судна может быть электронная картографическая система.

2.5. Изобразительные модели образуемых судами ситуаций

Общие сведения об «экраных» образах ситуаций. Отображение информации в СПС играет ключевую роль для обеспечения эффективного устранения угрозы столкновений. Как известно, на экране изображение обстановки определяется:

- стабилизацией по положению;
- стабилизацией по направлению;
- проекцией;
- масштабом.

Стабилизация по направлению называется также *ориентацией изображения*. Принимая это во внимание, первый признак образа обстановки будет называться просто *стабилизацией изображения*.

Виды стабилизации изображений. При отображении на дисплее экранные координаты элементов окружающей СО навигационной обстановки связываются с той или иной точкой (*точкой стабилизации изображения* - ТСИ), где «связываются» означает неподвижность этой точки на экране. В зависимости от ТСИ различают стабилизацию:

- по грунту;
- по морю;
- по судну оператора.

При первом виде стабилизации ТСИ является точкой земной поверхности.

При связи ТСИ с водной массой изображение называется стабилизированным «по морю». Для него характерен «дрейф» береговой черты и навигационных препятствий на экране в условиях течения.

Изображение стабилизировано «по судну оператора», если ТСИ отвечает его центру массы. В процессе движения СО изображение окружающей обстановки формируется с учетом этого обстоятельства.

Когда в СПС используются данные GPS, то обычно применяется стабилизация изображения «по грунту» и «по судну оператора».

Виды ориентации изображений. При представлении на экране СПС навигационной обстановки используется ориентация ее образов

- по норду;
- по курсу;
- по стабилизированному курсу;
- по выбранному направлению.

Ориентация «по норду» одинакова с ориентацией бумажных карт, что упрощает сравнение изображения обстановки на дисплее системы с картой. Когда в СПС показываются электронные карты или их элементы, такая ориентация обычно применяется при плавании в прибрежных водах. Для целей вождения судна в узкостях и в других стесненных водах она менее пригодна, так как на экране направления на объекты относительно вертикальной оси не совпадают с их курсовыми углами при наблюдении из рулевой рубки.

При ориентации изображения «по курсу» объекты на экране монитора расположены по направлениям, соответствующим курсовым углам при наблюдении из рулевой рубки. Это положительная черта при плавании в узкостях и в других стесненных водах. Недостатком такой ориентации являются непрерывные достаточно быстрые смещения изображения на экране то в одну, то в другую сторону при рыскании судна на волнении, ухудшающие качество образа обстановки.

Для уменьшения таких смещений используется ориентация «по стабилизированному курсу». Он представляет собой осредненное значение курса, свободное от изменений вправо и влево, вызванных волновым рысканием судна.

В процессе изменения курса изображение обстановки, ориентированной «по курсу» или «по стабилизированному курсу», вращается и при быстром повороте может оказаться нечитаемым.

Представление характера развития ситуации может выполняться в СПС отображением прогнозов:

- истинного движения;
- относительного движения;
- истинного и относительного движения одновременно.

В первом случае у отметок судов показывается вектора прогноза их истинного перемещения на определенное время вперед. Эти вектора называются *линиями истинного движения* (ЛИД).

Для прогноза движения «целей» относительно судна оператора показываются их *линии относительного движения* (ЛОД).

И первое, и второе перемещение может представляться на экране соответствующими векторами одновременно. Однако в СПС это не применяется из-за загромождения экрана векторами истинного и относительного движения и появляющимся риском их спутывания.

Режим отображения линий истинного движения при стабилизации «по грунту», «по морю», «по СО» применяется для оценки движения судов относительно береговой черты и навигационных опасностей.

ЛОДы также могут использоваться при трех названных видах стабилизации. Отображение этих линий позволяет глазомерно определить ДСРА, ТСРА и судить об угрозе столкновения.

В СПС реализуются следующие варианты отображения обстановки:

- Стабилизация «по грунту» - линии истинного движения;
- Стабилизация «по морю» - линии истинного движения;
- Стабилизация «по СО» - линии истинного движения;
- Стабилизация «по СО» - линии относительного движения.

В режимах стабилизации «по СО» используются различные ориентации изображения.

Чтобы судить о ракурсе «целей», у их отметок на экране (при отображении прогноза развития ситуаций с помощью ЛОДов и ЛИДов) обычно показывается небольшой отрезок, характеризующий направление диаметральной плоскости.

Следует отметить, что применение режима стабилизации «по морю» в СПС₁ было вынужденным, так как в них используются только данные гирокомпаса и относительного лага. В настоящее время нет сомнений, что ввод данных GPS в СПС должен быть обязательным, так как без координат места при плавании в стесненных водах возникают погрешности в определении элементов движения «целей» относительно грунта. Возможность ввода данных GPS в СПС предусмотрена действующими требованиями ИМО. При подключении приемника GPS необходимость в режиме стабилизации изображения «по морю» отпадает.

Способы отображения ситуаций. Практическое применение в СПС нашли две изобразительные модели для анализа ситуаций сближения судов и определения мер по предупреждению столкновений [3]:

- векторная;
- с зонами опасности (ЗО_к), отвечающими маневру курсом.

Способы отображения информации, соответствующие этим моделям, называются аналогично.

Векторный способ отображения ситуаций включает три режима их представления:

- векторами истинного движения судов;
- векторами относительного перемещения судов;
- векторами для отражения прогнозируемых маневров.

Курс и скорость судна показываются вектором экстраполированного перемещения. Его начало совпадает с положением отметки судна на текущий момент, а длина соответствует расстоянию, проходимому судном за время прогноза. Время экстраполяции движения выбирается судоводителем.

Представление ситуаций векторами истинного движения служит для анализа перемещения судов относительно берега, навигационных опасностей. Изменяя время прогноза в этом режиме, можно выявить наличие угрозы столкновения. Она существует, если при изменении этого времени концы прогнозируемых отрезков пути СО и «цели» одновременно попадают в малую область. Выполняя изменение длины ЛИД, можно также установить, по носу или по корме судно оператора пересечет курс СЦ.

Отображение ситуаций векторами относительного движения применяется главным образом для оценки ДСРА, ТСРА и обнаружения «целей», представляющих угрозу. Для такой оценки изменяется время прогноза и, соответственно, длина ЛОДов. С помощью НКД по расстоянию этих линий от отметки собственного судна оператор определяет дистанцию кратчайшего сближения. По устанавливаемому времени прогноза находится ТСРА.

Режим проигрывания предназначен для проверки эффективности и безопасности расхождения путем прогнозирования выполнения намечаемого маневра на экране. ИМО требуется, чтобы все САРП были оборудованы устройствами, позволяющими осуществлять проигрывание маневров собственного судна. Однако стандарта такой процедуры, к сожалению, пока нет. Поэтому в СПС реализованы различные виды проигрывания маневров, выбор которых определен изготовителями систем.

Чаще всего имитируются стратегии, включающие только один маневр: курсом и/или скоростью. Имитация может проводиться как в относительном, так и в истинном движении. Она может быть статической или динамической.

Во всех случаях при проигрывании маневра в СПС вводятся данные о предполагаемом курсе и скорости собственного судна. В некоторых СПС в дополнение может вводиться информация о времени задержки маневра, величине перекладки руля, а также о маневренных характеристиках судна при различных степенях его загрузки [17].

При статической имитации на экране прокладчика сразу отображается ситуация, соответствующая моменту окончания выбранного действия. В этом случае, положение судна оператора на момент окончания маневра рассчитывается с учетом задержки маневра и приращений координат от начальной до конечной его точки. У ряда СПС имеется режим автоматического выбора рекомендуемого маневра курсом или скоростью методом перебора. Для получения рекомендации по первому действию задается сторона отворота и шаг изменения курса (либо этот шаг выбирается

самой СПС по умолчанию). Аналогично находится подходящее значение скорости.

При динамической имитации процесс маневрирования отображается в ускоренном времени от момента его начала до окончания. При этом последовательно вычисляются значения координат судна оператора и «целей». Протекание маневра отображается с ускорением примерно в 30 раз. Для имитации движения судна оператора используются те или другие математические модели управляемого движения судна.

В некоторых СПС предусмотрена возможность проигрывания стратегий управления, включающих как один, так и два последовательных маневра. Имитация такого расхождения всегда проводится ускоренно в динамике.

Недостатки характеристики ситуаций векторами. Отображение ЛИДов и ЛОДов оказывает большую помощь судоводителям при оценке ситуаций и выборе маневров расхождения. Однако использование векторного способа представления ситуаций сопровождается рядом неудобств [32].

Прежде всего, это наличие трех режимов отображения, т.е. отдельное представление данных для разного вида задач, решаемых в процессе предупреждения столкновений. На практике, забывая об индикации режима изображения, судоводители иногда допускают ошибки в анализе обстановки, путая с ЛОДами ЛИДы. Случается, что по векторам относительного движения они судят об истинной скорости и курсе «цели», или же по векторам истинного движения оценивают ДСРА и ТСРА.

Во вторую очередь отметим, что при глазомерной оценке ряда важных параметров, например, степени опасности «целей» (ДСРА, ТСРА), или по носу или по корме и на каком расстоянии судно оператора пересечет курс «цели», приходится использовать большое время прогноза, которому соответствуют длинные вектора относительного или истинного движения. Они загромождают экран при большом числе «целей», и изображение теряет наглядность.

Третий недостаток - это необходимость дополнительных действий при оценке ситуаций (изменение длины векторов) и при проигрывании маневров.

Следует обратить внимание и на многообразие видов проигрывания маневров в СПС. Оно может привести к ошибкам интерпретации данных при работе с разными образцами СПС.

В заключение краткого рассмотрения векторного представления ситуаций отметим, что в настоящее время оно используется практически во всех САРП. Пример такого отображения показан на рис. 2.6,а.

Отображение ситуаций с помощью опасных для СО зон можно отнести к способу общего представления данных для решаемых в процессе расхождения частных задач. Этот вид реализуется, например, в САРП, выпускаемых фирмой «Сперри» (США) [15]. Он представлен на рис. 2.6,б. При его применении ситуация сближения характеризуется отрезками истинного движения, показываемых у отметок «целей». На линиях экстраполированного перемещения «целей» отмечаются зоны, указывающие

по отношению к каждой «цели» недопустимые позиции судна оператора и значения его курсов, при которых произойдет сближение на дистанцию, меньшую безопасного предела d^s . Зоны опасности для маневров курсом могут ограничиваться *эллипсами* либо *шестиугольниками*. В последнем случае построение ЗО_к на экране дисплея упрощается. Для облегчения глазомерной оценки перемещения «целей» на их векторах яркими точками выделяются шесть минутных отрезков.

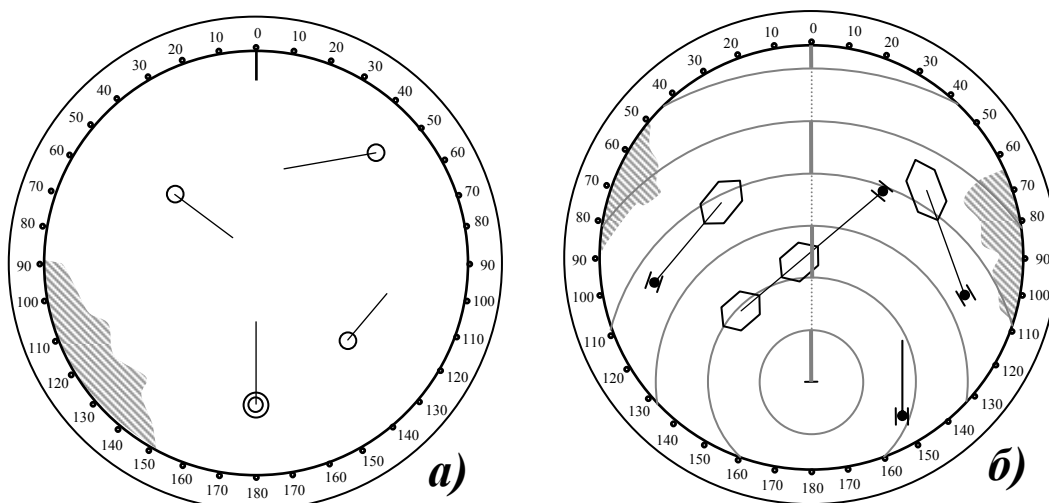


Рис. 2.6. Отображение ситуации с помощью

а) векторов; б) зон опасных курсов.

Шестиугольная ЗО_к строится следующим образом (рис. 2.7,а,б). Допустим, судно оператора O следует курсом K_0 со скоростью V_0 . «Цель» J идет со скоростью V_J по курсу K_J .

Проведем от «цели» три относительных курса:

k_c - соответствующий сближению СО с СЦ_Ј вплотную;

k_a и k_b - приводящие к расхождению с «целью» на дистанции d^s .

Зная скорость судна оператора, курс и скорость СЦ_Ј, а также относительный курс k_c , путем построения «треугольника скоростей» можно найти курс K_C судна оператора на сближение с «целью» вплотную. Проложив его от положения судна оператора до линии курса «цели», получим точку C возможного столкновения с ней.

Аналогично, рассматривая вместо k_c относительные курсы k_a и k_b , можно найти курсы судна оператора K_A и K_B для расхождения с «целью» точно на d^s . Проложив курсы K_A и K_B от точки O , получим сектор опасных курсов (СОК). Движение судна оператора курсом, попадающим в этот сектор, приведет к опасному сближению с «целью».

Если СО будет идти курсом K_A , то оно разойдется с «целью» на расстоянии, точно равном d^s , и пересечет ее курс по носу в точке A .

Если выбрать курс K_B , то судно оператора также разойдется с «целью» на расстоянии d^s , но пересечет ее курс по корме в точке B .

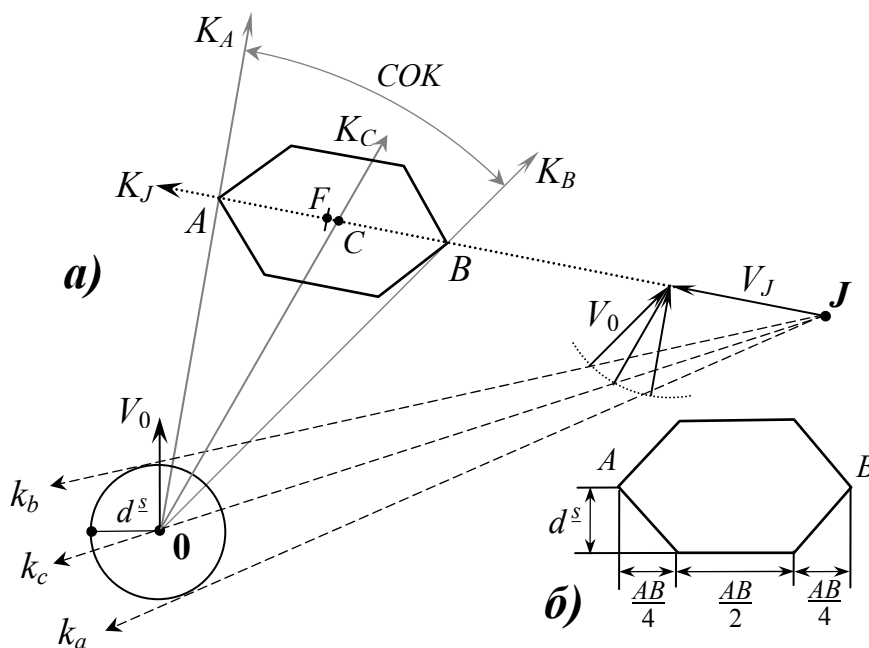


Рис. 2.7. Принцип построения зоны опасности

Точки A , B и значение d^s являются опорными элементами при образовании $ЗО_K$. Принцип ее построения ясен из рис. 2.7,б. Заметим, что центр зоны опасности (точка F) в общем случае не совпадает с точкой C возможного столкновения с «целью».

Когда судно оператора движется быстрее, чем «цель», то, изменив курс, оно всегда может пересечь ее курс либо по носу, либо по корме. Если же судно оператора уступает по скорости «цели», то возникают более сложные ситуации пересечения ее курса, зависящие от соотношения скоростей судов, их взаимного расположения и ракурса. В этом случае возможны следующие варианты:

- для одной «цели» существует две $ЗО_K$;
- зоны опасности нет (СО, не изменяя скорости, не в состоянии путем любого маневра курсом сблизиться с «целью» на d^s);
- нет части шестиугольника $ЗО_K$ (СО маневром курсом может сблизиться с «целью» на дистанцию d^s , но не в состоянии разойтись на этом расстоянии, пересекая ее курс по носу. В этом случае у $ЗО_K$ не будет точки A и части шестиугольника, примыкающего к ней.

Названные обстоятельства учитываются при отображении информации на дисплее. При наличии у цели двух $ЗО_K$ обе они отображаются на экране. Если одна из двух зон выходит за пределы шкалы дальности, то

отображается ближайшая. Когда $ЗО_K$ нет либо она выходит за пределы шкалы дальности, то у отметки «цели» отображается вектор, соответствующий экстраполированному на 6 минут ее пути. Если чрезмерное сближение с «целью» возможно, но точки A у зоны опасности нет, то отображается часть шестиугольника.

Анализируя отображение ситуаций с помощью зон опасностей, необходимо отметить ряд моментов.

Во-первых, если курс судна оператора пересекает $ЗО_K$ какой-либо «цели», то существует угроза столкновения.

Во-вторых, чтобы разойтись безопасно с «целями», следует выбрать курс, не пересекающий ни одной зоны опасности.

Таким образом, достоинство характеризуемого метода состоит в использовании только одного режима отображения, позволяющего:

- оценивать перемещения судов в истинной системе координат;
- определять вероятность чрезмерного сближения с судами;
- выбирать для расхождения с судами маневр курсом.

Недостатки применения зон опасностей. Охарактеризованный способ представления ситуаций не свободен от недостатков. Отметим из них следующие:

- При большом числе «целей» изображение на экране загромождается зонами опасностей и теряет наглядность.
- Затруднена глазомерная оценка ДСРА, ТСРА. К одной из причин этого обстоятельства относится неизменность времени экстраполяции векторов.
- Отображение ситуаций зонами опасностей неприспособленно к выбору маневров скоростью.
- В процессе движения конфигурация и положение $ЗО_K$ изменяются.
- Неприспособленность к выбору маневра с началом в более поздний, чем текущий, момент времени.

При угрозе столкновения двух судов с течением времени зона опасности двигается вниз по курсовой отметке. Конфигурация $ЗО_K$ в процессе сближения может изменяться, но никогда не переместится с курсовой черты, если суда сохраняют прежние режимы движения.

При отсутствии опасности столкновения изображение зон будет перемещаться по экрану, изменяясь по конфигурации в зависимости от взаимного положения судов. При образовании двух зон «цели», когда ее скорость больше чем у СО, эти зоны с течением времени могут совместиться.

Изменение положения $ЗО_K$ со временем говорит о том, что по ним можно выбирать маневр только с началом в текущий момент времени.

Неудобным является и разнообразие отображаемых зон, когда судно оператора уступает по скорости «цели». Также можно отметить, что при сближении с «целью» на небольшом курсовом угле принцип построения зон несколько меняется. Когда суда идут навстречу друг другу и отсутствуют точки пересечения их курсов, зона опасности представляет собой круг с центром в отметке «цели» и радиусом, равным заданной дистанции кратчайшего сближения.

При использовании САРП с $3O_K$ возникали погрешности, связанные с попыткой интерполировать или экстраполировать данные, отображаемые на дисплее, по аналогии с действиями, которые производят, работая с векторным отображением ситуации. Причиной таких ошибок являлось, чаще всего, непонимание особенностей отражения ситуаций зонами опасностей.

Из-за перечисленных недостатков метод представления ситуаций зонами опасностей не получил широкого применения в практической деятельности судоводителей.

2.6. Выработка рекомендаций по расхождению

Одной из важных функций систем поддержки принятия решений является формирование рекомендаций по необходимым управляющим действиям. Естественно, эта задача выполняется системой на основе только части имеемой у нее информации о собственном судне и его внешнем окружении. Поэтому к рекомендациям системы необходимо подходить критически, обязательно их анализировать и принимать решения, используя всю имеющую информацию. Но подтверждено практикой и не вызывает сомнений, что наличие даже основанных на неполной информации рекомендаций системы облегчает оператору выработку правильных решений.

Методы выработки рекомендаций по управляющим действиям. Для получения рекомендаций в системах управления, как правило, используются количественные методы обоснования решений. Для систем организационного управления, к одной из частей которых в совокупности расходящихся судов можно отнести СО, ими служат методы научной дисциплины – *«Исследование операций»*, где под операцией понимается любое целенаправленное действие. Система организационного управления предполагает обязательное участие в управлении человека и необходимость для оптимизации функционирования увязки действий ее подразделений.

Учитывая многочисленность методов дисциплины *«Исследование операций»*, так и использованием в ней средств из других дисциплин, отметим только группы методов, которые применялись при решении задач предупреждения столкновений. К ним относятся:

- статистические;
- математического программирования;
- теоретико-игровые;
- методы теорий управления систем различных видов (линейных и нелинейных, непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических, с централизованным и распределенным управлением);
- искусственного интеллекта.

Методы математической статистики основаны на анализе многочисленных реализаций случайных величин и процессов, полученных в результате фактических действий, или специальных натуральных испытаний, либо выработанных искусственно путем моделирования.

Математическое программирование объединяет методы для составления рационального плана последовательных действий или для наилучшего распределения имеющихся ограниченных ресурсов. Оно подразделяется на линейное, нелинейное и динамическое программирование. Первое применяется в задачах, в которых условия ведения действий могут быть описаны системой линейных уравнений и неравенств. Если же указанные зависимости носят нелинейный характер, используется метод нелинейного программирования. Динамическое программирование служит для выбора наилучшего плана выполнения многоэтапных действий, когда результат каждого последующего этапа зависит от предыдущего. К математическому программированию относится и сетевое планирование, когда составление рационального плана действий основывается на теории графов.

Теоретико-игровые методы служат для обоснования решений в условиях неопределенности, неполноты, неясности обстановки. К ним относится теория игр и теория статистических решений. Методы первой теории применяются в случаях, когда неопределенность обстановки вызвана сознательными действиями противника, конкурента или другого лица, принимающего противодействия для получения определенного выигрыша. Теория статистических решений используется тогда, когда неопределенность обстановки вызвана объективными обстоятельствами, которые либо неизвестны, либо носят случайный характер. Например, намерения «цели» при расхождении, ошибки в определении ее курса и скорости.

Методы теорий управления различных систем (не только организационных) дают возможность вырабатывать управляющие воздействия для обеспечения желаемого поведения объектов в определенных условиях.

Методы искусственного интеллекта используются в задачах управления, для которых затруднено получение удовлетворительного формализованного описания. Эти методы основаны на моделировании механизма мышления человека. Они разделяются на эвристические и приближенные методы. Первые базируются на использовании правил, полученных людьми в процессе практического опыта решения подобных задач. Ко вторым относятся методы, основанные на других используемых человеком приемах разрешения проблем. Они являются приблизительными в том смысле, что, во-первых, не требуют исчерпывающей исходной информации, а во-вторых, существует определенная степень уверенности в правильности предлагаемого решения.

Процесс исследования операций складывается из следующих этапов:

- постановка задачи,
- построение математической модели изучаемой системы,
- нахождение решения с помощью модели,
- корректировка выбранного решения,
- реализация окончательного варианта действий.

Успешность операции характеризуют определенным показателем (*критерием эффективности*). Между этим критерием и целью задачи должно быть строгое соответствие. В этом смысле показатель успешности операции иногда называют *целевой функцией*.

Предложенные методы получения стратегий расхождения. С началом применения на судах компьютеров (конец 1960-ых годов) стали активно проводиться научные работы по формализации проблемы предупреждения столкновений судов и поиску методов выбора эффективных стратегий расхождения. Эта проблема актуальна и в настоящее время, и ее исследование продолжается. За прошедший с начала активного изучения названной проблемы период времени был получен ряд процедур для синтеза эффективных стратегий расхождения, имеющих научное и практическое значение. Достойный вклад в решение вопросов предотвращения столкновений судов внесли и ученые Украины: М.С.Алексеичук, А.С.Мальцев, В.В.Павлов, Н.Н.Цымбал, Ю.М.Шепетуа и др.

Подробный анализ проведенных в разных странах почти за 40 лет основных работ по изучению проблемы предупреждения столкновений представлен в монографии [35]. В ней охарактеризованы опубликованные методы формализации задач расхождения, поиска стратегий уклонения от опасности и отмечены их «сильные» и «слабые» стороны.

Ниже дана краткая характеристика только некоторых из методов, предложенных для решения задачи расхождения с судами.

Статистические методы и формальная логика. В работах профессора Родионова А.И. (Ленинградское высшее инженерное морское училище, ныне – Санкт-Петербургская морская академия) при поиске стратегий расхождения использованы статистические методы и математическая логика [28, 29]. Основными параметрами и условиями, определяющими логику поведения при наличии угрозы, приняты курсовой угол встречного судна, его ракурс, метеорологические условия и навигационные ограничения. Для учета рекомендаций МППСС-72 и хорошей морской практики введены логические параметры, характеризующие кинематику встречи, условия видимости, навигационные ограничения. С использованием этих средств образованы логические функции приоритета в движении, соответствия изменения курса вправо и влево, снижения и увеличения скорости хода. С помощью этих функций выбирается маневр расхождения.

Методы ситуационного управления. Профессором Мальцевым А.С. (Одесская национальная морская академия) классифицированы ситуации сближения судна оператора и «цели» в зависимости от ее курсового угла и пересечения курса СО по носу или по корме [8]. В процессе этой работы выделены 18 вариантов ситуации сближения. На основе этой классификации с учетом возможных маневров СО был составлен «Каталог ситуаций и видов маневров», объединяющий в 16-ти блоках 288 вариантов действий для расхождения в выделенных ситуациях. С помощью этого каталога можно определить маневры, приводящие к увеличению расстояния кратчайшего сближения в рассматриваемой ситуации, а затем по полученным данным с

учетом МППСС-72 выбрать из них наилучший. Кроме того, каталог можно применить для прогнозирования вида маневра встречного судна.

На изучении ситуаций расхождения базируется система для оценки обстановки в районе плавания и выбора действий по расхождению, представленная в работах [59, 60].

Аналитический расчет допустимых областей безопасных курсов и скоростей. Сотрудники Института проблем управления (г. Москва) Цаллагов Х.-Б.Н, Георгизон Е.Б. предложили алгоритмы для расчетов маневров с одиночной «целью» без учета ограничений на навигационные препятствия и инерционные характеристики оперирующего судна [36]. Параметры движения «цели» считаются неизменными при сближении с ней.

В процессе исследований были получены аналитические выражения, описывающие допустимые области безопасных курсов и скоростей СО в функции начального относительного положения судов и параметров их движения. Показано, что предложенный аналитический метод нахождения безопасных курсов и скоростей СО более эффективен по сравнению с поиском маневров расхождения методом перебора.

Использование методов математического программирования и теории игр. В период 1970-1980 годов были предложены процедуры поиска стратегий расхождения, основанные на теории оптимального управления, теории линейного и нелинейного программирования, теории игр. Одна из таких работ выполнена под руководством академика И.Р.Фрейдзона [16, 19, 34] с участием его коллег Кудряшова В.Е., Иванова В.А., Каплина С.И., Леонтьева В.В. При решении задачи для прогнозирования движения судна оператора используется модель его динамики, позволяющая учитывать внешние возмущения и различные по виду управляющие воздействия. Эта модель используется периодически в ускоренном масштабе времени для получения необходимых при определении безопасных маневров данных. Для учета рекомендаций МППСС-72 введены логические переменные, которые характеризуют возможность изменения курса вправо и влево, приоритет в движении при расхождении.

Для поиска решений вначале использовались методы линейного программирования. Затем был предложен более эффективный метод синтеза стратегий управления. Совокупность «целей» вместе с судном оператора стала рассматриваться в виде единой динамической системы. Изменение состояния этой системы было отнесено к процессам, протекающим в условиях неопределенности и конфликта. На этом основании теоретической основой для поиска решения стала теория игр, с помощью методов которой был получен алгоритм синтеза стратегий расхождения по критерию – расстояние до порта назначения.

На основе теории игр были разработаны и другие методы для решения задач расхождения судов. Из исследований, базирующихся на таком подходе, можно назвать, например, работу [48] профессора Лисовского И.А. (Морской университет, Гдыня).

Применение методов теории оптимальных дискретных процессов. Сотрудниками Томского университета Куликовым А.М., Поддубным В.В. предложено находить безопасные маневры расхождения с помощью методов теории оптимальных дискретных процессов [21]. В алгоритме синтеза маневров учитываются ограничения на величину и скорость изменения курса, боковое отклонение от линии пути. Предполагается, что в процессе расхождения внешние возмущения отсутствуют и что скорость и курс «целей» постоянны. Особенностью данного подхода является обобщенный учет динамики судна оператора и условий плавания.

При нахождении стратегии расхождения могут использоваться три критерия оптимальности: минимума переключений руля, минимума среднего квадратичного отклонения (СКО) от заданной траектории, минимума СКО от заданного курса.

Использование нелинейного метода интегральной инвариантности. Академиком Павловым В.В. и его учениками Шепетухой Ю.М., Положенцевым И.А., Богачуком Ю.П., Сеньшиным Н.И. (Институт кибернетики им. В.М.Глушкова, АН Украины) было предложено применять для решения задач предупреждения столкновений нелинейный метод интегральной инвариантности [25, 27]. Он позволяет синтезировать стратегию расхождения, обеспечивающую инвариантность расстояний от судна оператора до затрудняющих его движение «целей» относительно векторов их движения. С помощью названного подхода обеспечивается расхождение с несколькими «целями» при самых неблагоприятных начальных условиях. В работе используется оригинальный вариант формализации МППСС-72.

В 1985 г. разработчиками описанного метода было получено авторское свидетельство на изобретение вычислительной системы предупреждения столкновений судов «Антикон».

Решение задачи расхождения с помощью эволюционного алгоритма. Проф. Смерзальский Р. (Морской университет, Гдыня), принимая во внимание определенные границы области маневрирования с навигационными опасностями и перемещающимися судами, сводит проблему предупреждения столкновений к динамической оптимизационной задаче со статическими и динамическими ограничениями [56, 57]. Для поиска решения задачи используется *модифицированная версия эволюционного алгоритма*.

Введение параметра времени, изменяемая скорость судна, зависящие от времени ограничения, накладываемые на маневр судна оператора «целями», являются главными особенностями предлагаемого алгоритма поиска стратегий расхождения.

Методы теории искусственного интеллекта. Применение элементов искусственного интеллекта в области предупреждения столкновений судов проявляется в создании и использовании экспертных систем, в выполнении оценки риска столкновения с помощью методов теории нечетких множеств и в разработке «интеллектуальных» алгоритмов поиска стратегий расхождения

в выделяемой области движения и маневра. Отметим ряд работ, касающихся этого направления.

В 1987 г. Кояма и Ян разработали экспертную систему для выбора маневров расхождения [45]. В этом же году Хасегава предложил использовать при оценке риска столкновений теорию нечетких множеств [40]. Такой же подход применили Хаара и Хаммер, ориентируясь на другие показатели риска столкновений [38, 39]. В 1989 г. Хасегава разработал процедуру устранения угрозы столкновений путем комбинации экспертной системы Коямы и своего метода оценки риска чрезмерного сближения [4]. В 1993 г. Лии, Вуу и Рири предложили метод предупреждения столкновений [47], основанный на использовании алгоритма, предложенного Имазу [42], и процедуру Хасегавы для оценки степени коллизионного риска.

В 2001 г. Лии и Рири разработали алгоритм для расхождения с судами на основе экспертной системы с использованием при оценке риска чрезмерного сближения средств теории нечетких множеств и, так называемого, А*-поискового метода для определения плана действий [46]. Область движения и маневра (пространство действий судна оператора) для такого поиска формируется экспертной системой с учетом действующих правил судоходства.

Вопросы синтеза безопасных траекторий расхождения судов с использованием методов искусственного интеллекта рассматриваются также в работе [14] Дмитриева С.П., Колесова Н.В., Осипова А.В.

Разработке и исследованию экспертных систем для предупреждения столкновений посвящены работы Косе, Янга, Лиу [44, 51, 58].

В работе [52] авторами Лиу, Ду и Янгом предложена структура нечеткой нейронной сети для поиска эффективных стратегий расхождения.

Подход, основанный на теории систем с распределенным управлением. С начала 2000 г. интенсивные исследования по разработке алгоритма синтеза безопасных стратегий расхождения ведутся в Одесской национальной морской академии (ОНМА) под руководством проф. Цымбала Н.Н. В основу решения задачи положены методы теории динамических n -управляемых систем. Проводимые исследования являются продолжением работ проф. Алексейчука М.С. (ОНМА) в этом направлении [1].

При выбранном подходе к решению задачи расхождения [35] судно оператора совместно с судами-целями в контролируемом им районе рассматривается как динамическая система, управляемая всеми входящими в нее судами. Относительное перемещение судов этой системы представляется позиционной матрицей.

При отсутствии угрозы столкновения система находится в невозмущенном состоянии, когда суда без помех реализуют свои программные траектории.

При возникновении риска столкновения (ситуационного возмущения) динамическая система оказывается в одном из возмущенных состояний, характеризующегося видом взаимодействия между судами, затрудняющими друг другу реализацию своих планов движения. Следствием этого является

необходимость выбора судами стратегий расхождения, реализация которых устранил ситуационное возмущение.

Для оценки возможности судна управлять процессом расхождения выделяются области взаимных обязанностей судов. В зависимости от принадлежности к той или другой области судну предписываются определенные типы поведения, которые отражаются различными стратегиями расхождения. Принадлежность судна оператора, «возмущенного» другим судном, к той или другой области взаимных обязанностей зависит от положения и параметров движения этих судов, инерционных характеристик СО, навигационных ограничений, а также влияния ветра и течения. Если происходит изменение границ взаимных обязанностей из-за маневра «цели» или по другим причинам, но оно не ведет к изменению принадлежности СО к исходной области, то судно изменяет только параметры маневра расхождения. В противном случае, СО выбирает другую стратегию, отвечающую новой области взаимных обязанностей.

Для повышения безопасности в условиях неопределенности, во многом возникающей из-за несовершенства МППСС-72, используются основанные на минимаксном подходе гибкие стратегии расхождения.

Многоагентный подход. Развитие телекоммуникационных технологий в последние годы привело к появлению распределенных, интеллектуальных программных систем. Наилучшим для их реализации оказался многоагентный подход [11]. Он эффективен и для задач с распределенным принятием решений в разнородной динамической среде в сферах управления. Это обусловило становление новой теории многоагентных систем (МАС), которая в применении к задачам с распределенным управлением является дальнейшим развитием теории динамических n -управляемых систем. Ключевой элемент МАС - интеллектуальный агент, способный воспринимать ситуацию, принимать решения и обмениваться информацией с другими агентами. Многоагентные системы – это структуры с множеством агентов, вовлеченных в решение совместной задачи (в частности - задачи расхождения).

Улучшение телекоммуникационных возможностей судов определило перспективность многоагентного подхода для повышения безопасности расхождения и привело к появлению работ в этом направлении [6, 14, 49, 50]. В задаче предупреждения столкновений под агентом понимается решающая свои локальные задачи система управления движением судна, дополненная аппаратурой для связи с другими судами и интеллектуальными средствами для решения общей с ними задачи расхождения. Такого типа агенты включают компоненты:

1. «тело» (корпус судна с силовыми средствами);
2. сенсорную систему (бортовые датчики информации),
3. систему управления (образуется тремя подсистемами: информационной, выработки решений, исполнительной);
4. систему коммуникации (средства, каналы и язык связи).

Агент характеризуется набором свойств, инкапсулированных в его модели; списком событий, на которые он реагирует; перечнем мер, предпринимаемых для достижения целей.

В процессе предупреждения столкновений агент решает задачи:

- адаптивного планирование своего движения в среде с использованием внутренней и внешней информации;
- моделирования внешней среды и поведения других агентов;
- распознавания ситуаций и принятия оптимальных решений.

Коммуникация - одна из главных особенностей агента. С одной стороны, ее можно рассматривать как процедуру, которая обновляет знание агентов о состоянии МАС. С другой стороны, процесс коммуникации используется для информирования о своих действиях. Чтобы передаваемая информация не трактовалась агентами по-разному, применяется язык, исключаящий ее неоднозначную интерпретацию. Для задач расхождения судов им может служить система сообщений АИС [10, 18], посылаемых на общих для всех агентов каналах УКВ. Наиболее важные сведения о своем судне бортовой транспондер АИС излучает в основном непрерывном режиме работы. Для информирования о своих действиях, запросов и передачи других данных в АИС могут использоваться сообщения по безопасности.

АИС помогает уточнить обстановку, узнать о намерениях других судов, сообщить о планируемых мерах для избежания чрезмерного сближения, согласовать действия по устранению угрозы столкновения. Бортовая аппаратура АИС может использоваться для расхождения как при плавании судов на виду друг у друга, так и в условиях ограниченной видимости.

По сравнению с УКВ-радиостанциями, которые применяются для более надежного предупреждения столкновений, АИС обладает многими преимуществами. Главными из них являются:

- возможность получения данных от всех судов, оборудованных АИС;
- большой объем принимаемой информации;
- «электронный» вид данных.

Голосовая информация по УКВ-радиостанции может быть неправильно понята из-за помех в эфире либо из-за недостаточно хорошего знания английского языка. Кроме того, судоводитель с голоса может запомнить лишь малый объем данных. Информация, переданная по линии АИС, хранится в запоминающем устройстве бортовой аппаратуры. Ее можно вызвать на экран, разобраться в ней и исключить неправильное понимание.

При использовании возможностей АИС для согласования действий по предупреждению столкновений необходимо учитывать следующее. **Правила МППСС-72 не допускают произвольного их изменения по взаимной договоренности судов.** Взаимоотношения судов при расхождении могут регламентироваться только МППСС-72 или местными правилами, если они установлены для района, где находится судно. В любом случае согласованные по линии АИС или по УКВ-радиостанции действия не должны противоречить МППСС-72.

2.7. Пути совершенствования СПС

Проблема безопасного расхождения судов остается актуальной и обостряется с течением времени из-за повышения интенсивности судоходства, роста скоростей судов и ряда других причин.

Актуальность проблемы требует принятия дальнейших мер по регулированию движения в сложных районах плавания, создания новых береговых систем управления движением, повышения информативности бортовых систем предупреждения столкновений, более широкого использования возросших коммуникационных возможностей судов, а также совершенствования МППСС-72.

Анализ столкновений судов, в число которых входят и современные суда с передовыми системами для предупреждения столкновений, говорит о том, что одних организационных и технических мер недостаточно для решения проблемы. Особое значение при выполнении этой задачи имеет качество подготовки судоводителей.

Обязанность принятия решений по расхождению и ответственность за них в настоящее время и в обозримом будущем будет лежать на судоводителе. Бортовые СПС следует рассматривать лишь как средства поддержки принятия им решений по предупреждению столкновений.

Отображение информации в СПС должно обеспечивать высокий уровень понимания ситуаций и служить существенным вспомогательным средством при выборе действий по расхождению.

Проводимые в настоящее время работы по совершенствованию бортовых СПС имеют следующие особенности:

- Совокупность находящихся в районе плавания судов, вовлеченных в решение задачи предупреждения столкновений, рассматривается как система с распределенным управлением (многоагентная система), использующая интеллектуальные методы при функционировании.
- Основой для оценки ситуаций сближения и выбора стратегий расхождения является экспертная система, отражающая знания опытных судоводителей, правила МППСС-72, наставления для плавания и рекомендации хорошей морской практики.
- Критерии качества разрешения угрозы столкновений основываются на теории нечетких процессов.
- В алгоритмах расхождения с судами применяется нечеткая логика и вербальные модели.
- При определении эффективных стратегий расхождения используются современные численные методы поиска оптимальных решений, в том числе и методы искусственного интеллекта.
- Все большее внимание уделяется разработке методик использования системы сообщений АИС для повышения надежности устранения угрозы столкновений.

3. КОМПЬЮТЕРНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ «ЦЕЛЕЙ» ПО ЭХОСИГНАЛАМ РЛС

3.1. РЛС и ее технические характеристики

В морском судовождении используются в основном обзорные импульсные радиолокационные станции [13]. Импульсный режим радиолокации заключается в периодическом узконаправленном излучении кратковременных импульсов сверхвысокой частоты (СВЧ) вращающейся антенной и в приеме ответных сигналов (эхосигналов) в промежутках между ними. Запаздывание эхосигналов относительно момента посылки импульсов СВЧ и угловое положение антенны содержат информацию о полярных координатах объектов, от которых приходят эхосигналы.

Навигационная радиолокационная станция (рис. 3.1) включает в себя синхронизатор, передатчик, приемник, индикатор, антенну и антенный переключатель.

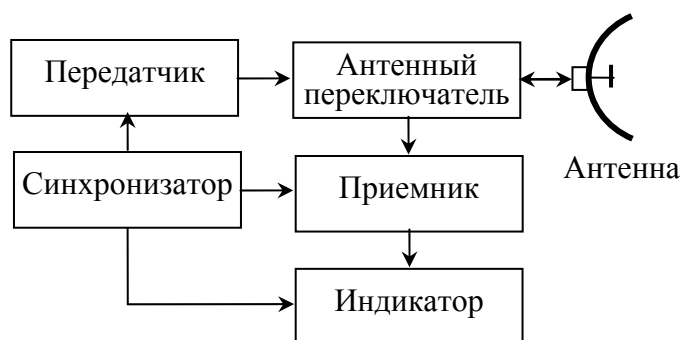


Рис. 3.1. Блок-схема РЛС

Синхронизатор с определенной частотой вырабатывает импульсы малой длительности, обеспечивающие требуемую последовательность работы блоков передатчика, приемника и индикатора РЛС.

Передатчик по сигналу синхронизатора формирует мощные СВЧ импульсы электромагнитной энергии (зондирующие импульсы - ЗИ) через антенну излучаемые в пространство. Как правило, все судовые РЛС работают в трех и десятисантиметровом диапазоне.

Антенна формирует узкий луч высокочастотной электромагнитной энергии, излучаемой в пространство. Он имеет форму лепестка, узкого в горизонтальной и широкого в вертикальной плоскости. Эта же антенна принимает энергию, отраженную объектом (эхосигнал). При излучении и приеме сигналов антенна с постоянной скоростью вращается по азимуту, обеспечивая «обзор» пространства вокруг судна.

Приемник воспринимает отраженные от объектов сигналы, преобразует и усиливает их. Затем с помощью видеодетектора выделяет однополярную огибающую (*видеосигнал*) преобразованных и усиленных эхосигналов. Он поступает для отображения на индикатор. Представляющими информацию

параметрами являются амплитудно-временные характеристики видеосигнала.

Антенный переключатель подсоединяет к антенне передатчик или приемник в зависимости от работы станции на излучение ЗИ или восприятие эхосигналов.

Основные технико-эксплуатационные характеристики судовых РЛС представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 - Основные технико-эксплуатационные характеристики РЛС

№	Характеристика	Обозначение	Значение
1.	Длина волны излучаемого СВЧ сигнала, см	$\lambda_{и}$	3 (X-band) 10 (S-band)
2.	Длительность зондирующих импульсов, мкс: малые шкалы дальности средние шкалы дальности большие шкалы дальности	$\tau_{и}$	0.5÷4.0 2.0÷9.0 7.0÷12.0
3.	Частота повторения импульсов, гц малые шкалы дальности средние шкалы дальности большие шкалы дальности	$f_{и}$	1000÷4000 600÷2000 400÷1000
4.	Частота вращения антенны, об/мин РЛС обычных судов РЛС высокоскоростных судов	F_a	20÷40 40÷60
5.	Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости, град. 3 см (X-band) 10 см (S-band)	$\Psi_{г}$	0.5÷1.5 2.0÷2.5
6.	Ширина диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости, град.	$\Psi_{в}$	15÷30
7.	Минимальная дальность, м: РЛС обычных судов РЛС высокоскоростных судов	D_{min}	Не более 50 Не более 35
8.	Максимальная дальность радиолокационного обзора, мили	D_{max}	До 120
9.	Разрешающая способность по дистанции, в процентах от номинала шкалы	δ_d	0.7÷1.0
10.	Разрешающая способность по углу, град	δ_{γ}	Не хуже 2.5
11.	Точность измерения дистанций, в процентах от номинала шкалы	$e\%$	0.7÷1.0

При нормальных условиях распространения радиоволн, когда высота антенны над уровнем моря равна 15 м. и нет помех, РЛС должна давать четкое изображение:

- берега на расстоянии 20 миль, когда он возвышается над уровнем моря до 60 м., и на расстоянии 7 миль, когда он поднимается до 6 м;
- судов вместимостью 5000 брт. независимо от ракурса - на расстоянии не менее 7 миль;
- малых судов, длиной порядка 10 м., на расстоянии не менее 3 миль;

- объектов, таких как навигационные буи, с эффективной отражающей поверхностью порядка 10 кв.м., на расстоянии не менее 2 миль.

Среднетоннажные и крупнотоннажные суда обнаруживаются с помощью РЛС на расстояниях от 7 до 20 миль.

Частота вращения и угловые размеры диаграммы направленности антенны зависят от типа РЛС, а частота повторения и длительность ЗИ - от типа РЛС и используемой шкалы дальности.

Разрешающая способность РЛС по дистанции - это минимальное расстояние между двумя расположенными на одном (от СО) пеленге объектов, на котором их радиолокационные (РЛ) отметки не сливаются в одну. Эта способность зависит от многих факторов, основным из которых является длительность ЗИ. *Потенциальной* называют разрешающую способность по дистанции, определяемую только длительностью зондирующего импульса

$$\delta_D = 0.5 \cdot c \cdot \tau_{и},$$

где c - скорость распространения радиоволн.

Разрешающая способность РЛС по пеленгу представляет собой минимальный угол δ_{Π} между пеленгами двух расположенных на одинаковом (от судна оператора) расстоянии объектов, на котором их РЛ-отметки не сливаются в одну. Такая способность зависит от многих факторов, основным из которых является ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости. *Потенциальной* считают разрешающую способность по пеленгу, определяемую только шириной диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости.

Потенциальной зоной разрешения РЛС называется почти прямоугольная область, одна стороны которой равна δ_D , а вторая δ_L соответствуют потенциальной разрешающей способности по пеленгу:

$$\delta_L = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg} \frac{\delta_{\Pi}}{2} = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg} \frac{\Psi_{\Gamma}}{2},$$

где D - расстояние зоны от судна оператора.

Для $\tau_{и} = 0.3$ мкс, $\Psi_{\Gamma} = 1.0^{\circ}$ и $D = 3$ мили размеры потенциальной зоны разрешения составляют: $\delta_D = 45$ м, $\delta_L = 93$ м.

3.2. Характеристика эхосигналов РЛС

Особенности эхосигналов рассматриваются на примерах, в которых:

- шкала дальности - 6 миль;
- размер диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости - $\Psi_{\Gamma} = 1.0^{\circ}$;

- частота вращения антенны - $F_a = 20$ об/мин;
- длительность зондирующих импульсов передатчика - $\tau_{\text{и}} = 0.3$ мкс;
- частота повторения ЗИ - $f_{\text{и}} = 1200$ Гц.

РЛ-информация об окружающих судно объектах получается в результате зондирования пространства при вращении антенны [13]. Так как приняты $F_a = 20$ об/мин, $f_{\text{и}} = 1200$ Гц, то нетрудно установить, что пространство в рассматриваемом случае зондируется через каждые $6'$ поворота антенны. Эхосигнал считается соответствующим осевой линии диаграммы направленности антенны в момент излучения ЗИ. Совокупность видеосигналов при нескольких последовательных посылках ЗИ, отвечающая облучаемому объекту, называется его **РЛ-отметкой** или **РЛ-образом**.

При решении задач судовождения с помощью РЛС находят дистанцию до объекта и направление на него. *В основу определения дистанции D* положена ее зависимость от интервала времени t между моментами посылки ЗИ и прихода эхосигнала от объекта:

$$D = c \cdot t / 2;$$

где c - скорость распространения радиоволн.

Направление на объект находится регистрацией углового положения антенны в момент прихода эхосигнала от него.

Среди объектов РЛ-наблюдения различают *точечные, сосредоточенные и протяженные*. Такая классификация обычно производится в зависимости от площади потенциальной зоны разрешения радиолокатора.

К **точечным** относятся РЛ-объекты, размерами отметок которых можно пренебречь по сравнению с потенциальной зоной разрешения РЛС.

Сосредоточенными считаются объекты, имеющие отметки, соизмеримые по размерам с этой зоной.

Протяженными являются объекты, у которых хотя бы один из размеров их отметки значительно превышает стороны потенциальной зоны разрешения.

К точечным объектам в основном относятся плавучие знаки навигационного ограждения и малые суда. Среднетоннажные и крупнотоннажные суда обычно принадлежат к сосредоточенным объектам. Острова, берега являются протяженными РЛ-объектами [17].

Когда нет помех распространению и приему радиоволн, то при единичном облучении точечного объекта его видеосигнал повторяет огибающую зондирующего импульса (рис. 3.2,а). В этом идеализированном случае линейная временная развертка выходного сигнала приемника РЛС будет иметь вид, показанный на рис. 3.2,б, где U_{BC} - амплитуда видеосигнала. Отстояние t по времени от момента посылки ЗИ отметки точечного объекта характеризует дистанцию до него.

В действительности на видеосигналы влияют помехи среды распространения, от подстилающей поверхности, шумы на входе приемника и в самом приемнике. Поэтому на выходе приемного устройства РЛС всегда будет обусловленная помехами составляющая, которая искажает полезный сигнал. Соотношений сигнал-помеха в выходном сигнале приемника очень много. При тихой ясной погоде, когда преобладающими из помех в выходном сигнале приемника являются его шумы, временная развертка реального выхода приемного устройства РЛС после одного облучения точечного объекта будет подобна представленной на рис. 3.2,в.

Для различия реальных видеосигналов от идеального их представления наряду с термином «РЛ-отметка объекта» используется понятие «идеальная РЛ-отметка», под которой понимается отображение объекта в выходном сигнале РЛС при условии полного отсутствия помех.

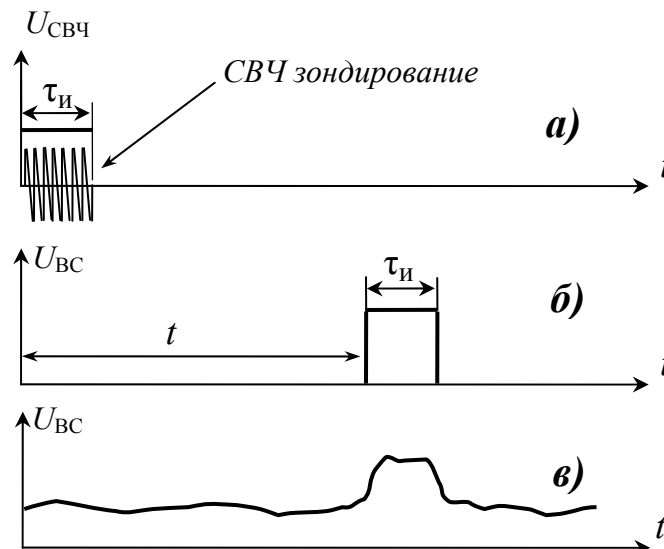


Рис. 3.2. Видеосигнал точечного объекта при одном его облучении
 б) идеальный в) реальный

Рассмотрим интерпретацию идеальной РЛ-отметки точечного объекта. Так как диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости имеет определенную ширину, то в одном обзоре при прохождении луча РЛС точечный объект облучается многократно. Количество ЗИ, отражаемых от точечной «цели» при одном обороте антенны, можно посчитать по формуле:

$$N_{обл} = \Psi_{\Gamma} \cdot f_{и} / (6 \cdot F_a).$$

Например, когда $\Psi_{\Gamma} = 1.0^{\circ}$, $F_a = 20$ об/мин, $f_{и} = 1200$ Гц, при прохождении луча антенны точечный объект будет облучен 10 раз. В результате ему на выходе приемника будет соответствовать пачка из десяти импульсов, следующих через период посылки. Эта пачка и представляет собой идеальную РЛ-отметку точечного объекта.

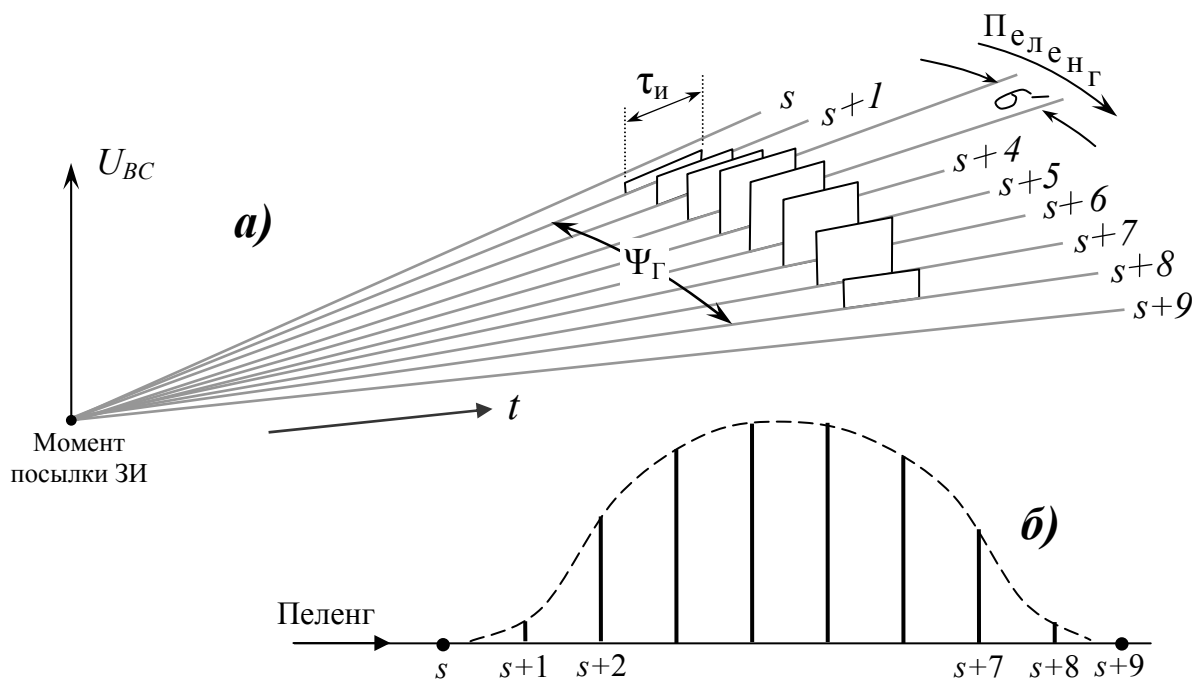


Рис. 3.3. Интерпретация идеальной РЛ отметки точечного объекта

Поскольку эхосигналы соответствуют определенным направлениям осевой линии антенны, то интерпретировать идеальную РЛ-отметку точечного объекта можно, используя последовательные радиальновременные развертки выхода приемника, как показано на рис. 3.3,а, где s - номер посылки одного из ЗИ. Огибающая по амплитуде пачки импульсов идеальной отметки точечного объекта соответствует конфигурации диаграммы направленности антенны (рис.3.3,б). Протяженность идеальной РЛ-отметки точечного объекта вдоль развертки (по росту дистанции) равна $\tau_{и}$, а по азимуту (по ширине) - Ψ_{Γ} .

Идеальная РЛ-отметка сосредоточенного объекта больше по размерам образа точечного объекта, как по дистанции, так и по ширине. Импульсы идеальной пачки от сосредоточенного объекта отличаются друг от друга не только амплитудой, как у точечного, но также длительностью и формой.

Реальные РЛ-отметки объектов - это искаженные влиянием помех их идеальные отметки, вследствие чего их опознание и уверенное определение размеров затруднены. *Помехи приемника* РЛС являются шумовыми и имеют приблизительно одинаковую интенсивность по всему полю обзора. *Помехи от дождя* могут быть похожими на шум приемника, либо образовывать протяженные по пеленгу и дальности отметки. *Помехи от низких облаков* образуют значительные по размерам отметки с нечетко выраженными краями. *Помехи от взволнованной поверхности моря* представляют малые либо протяженные по пеленгу отметки, которые иногда трудно отличить от РЛ-образа буя или небольшого судна. С увеличением расстояния интенсивность этих помех уменьшается, а от обзора к обзору случайным образом меняются координаты и величина.

Отличиями отметки судна от РЛ-образа помех являются:

- обычно более высокая амплитуда;
- определенная протяженность по пеленгу и дистанции;
- малое изменение площади при последующих обзорах;
- закономерное изменения положения от обзора к обзору.

Таким образом, РЛ-отметка объекта состоит из совокупности видеосигналов, полученных при прохождении через него луча антенны. Эта отметка в общем случае является областью неправильной формы, которая имеет определенную протяженность по пеленгу и дистанции.

3.3. Преобразование эхосигналов РЛС в цифровой код

Выходной сигнал приемника радиолокатора, рассматриваемый между соседними посылками ЗИ, является сложным по форме и представляет собой смесь полезных эхосигналов с шумом. Пример временной развертки видеосигнала показан на рис. 3.4,б [15].

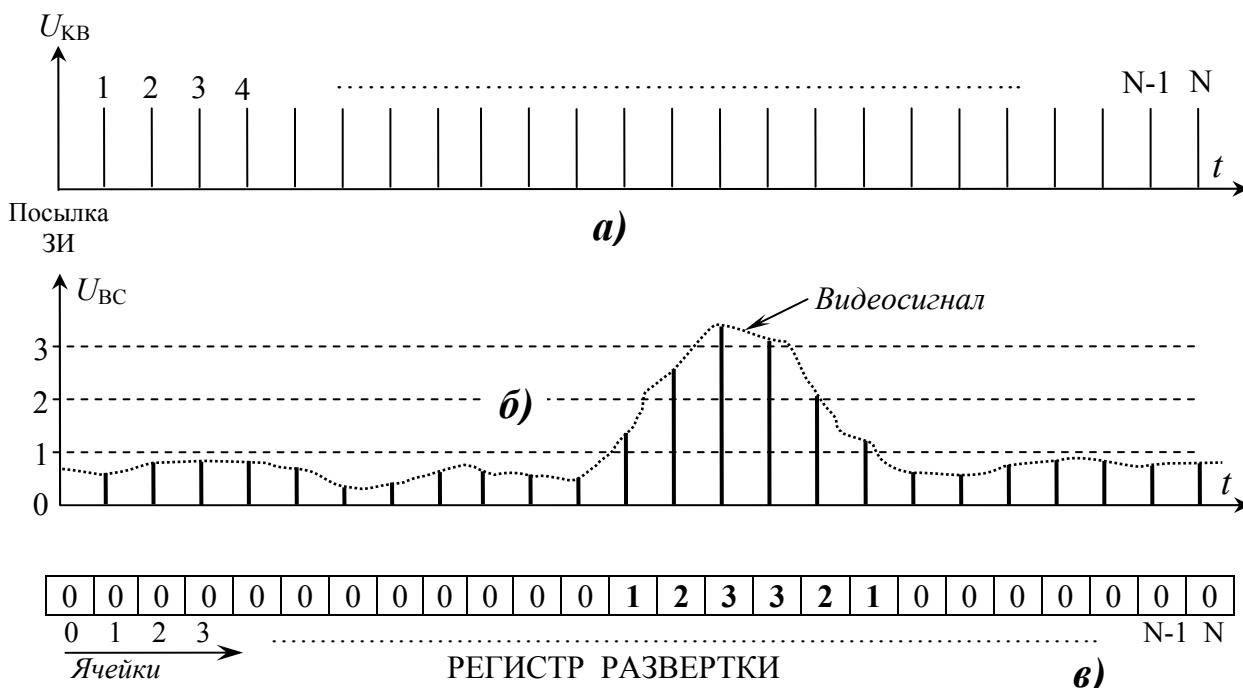


Рис. 3.4. Квантование видеосигнала РЛС по времени и уровню

Для выделения полезной информации и представления ее в цифровой форме видеосигнал квантуется по времени и уровню.

При временном квантовании выходной сигнал в одном периоде посылки представляется последовательностью импульсов малой длительности (рис. 3.4,б), амплитуда которых равна амплитуде видеосигнала. Частота квантования задается специальным генератором [15]. Он запускается синхронизирующим импульсом РЛС и вырабатывает с шагом $\tau_{\text{КВ}}$ стандартные импульсы малой длительности (рис. 3.4,а) в интервале времени $T_{\text{Ш}}$, соответствующем дистанции $D_{\text{Ш}}$ выбранной шкалы дальности

($T_{\text{ш}} = D_{\text{ш}} / c$). Если импульсам квантования в порядке их генерации присвоить номера 1, 2, 3, ..., r , ..., N , то каждому из них будет соответствовать дистанция от антенны судна

$$D_r = r \cdot \tau_{\text{кв}} \cdot c.$$

Чтобы не потерять полезную информацию и не ухудшить точность измерения дистанции, интервал дискретизации по времени $\tau_{\text{кв}}$ выбирают меньшим длительности $\tau_{\text{и}}$ зондирующего импульса. В то же время нет смысла делать $\tau_{\text{кв}}$ слишком малым, так как это влечет повышение требований к быстродействию и приводит к появлению излишних импульсов, представляющих объекты, что усложняет обработку. Обычно $\tau_{\text{кв}}$ берут в интервале $\tau_{\text{и}} > \tau_{\text{кв}} > \tau_{\text{и}}/2$. В примерах $\tau_{\text{кв}}=0.2\text{мкс}$, чему соответствует частота квантования 5 МГц. При такой частоте интервалу времени между импульсами квантования отвечает дистанция $D_{\text{кв}}=30$ м. С выхода схемы временного квантования последовательность импульсов поступает на вход схемы амплитудной дискретизации.

Схема амплитудного квантования имеет несколько уровней и выдает на выходе номер верхнего из них, который превышен импульсами в каждом интервале временного квантования (рис 3.4,в). Нулевые значения характеризуют отсутствие полезного сигнала.

Используется амплитудная дискретизация с 2-мя, 4-мя, 8-ю, 16-ю и 32-мя уровнями. Довольно часто применяется квантование с двумя уровнями - нулевым и единичным [17]. Схема такого бинарного квантования выдает импульс стандартной амплитуды и длительности (единицу), если амплитуда полученных при временном квантовании импульсов больше определенного единичного порога, и ноль - когда этот уровень не превышен.

При выборе единицы амплитуды исходят из интенсивности шумов приемника РЛС. Обычно применяется регулируемый в зависимости от интенсивности шумов единичный уровень, обеспечивающий возможность на их фоне оптимально выделять полезные сигналы.

Получаемый после квантования сигнал в виде последовательности цифр записывается в регистр развертки (рис 3.4,в). **Регистр развертки** представляет собой логическое устройство, состоящее из блока ячеек (разрядов), последовательно переключаемых на открытие импульсом квантования, номер которого в порядке генерации соответствует номеру ячейки регистра развертки. Таким образом, значение в ячейке регистра соответствует расстоянию от антенны

$$D_k = k \cdot \tau_{\text{кв}} \cdot c,$$

где k - номер ячейки.

За интервал времени $T_{\text{ш}}$ после излучения ЗИ все разряды регистра развертки заполняются и предаются на хранение в запоминающее устройство. После квантования отметка объекта является совокупностью значащих цифр. Область цифровых значений, представляющих объект после квантования видеосигналов по времени и уровню, называется его *цифровой отметкой* или *цифровым образом*.

Значение разряда регистра развертки обозначим Z . При бинарном квантовании по уровню Z может принимать значение 0 или 1. Если используется восемь уровней квантования сигнала, то в зависимости от амплитуды видеосигнала, в разряды регистра развертки записываются значения от нуля до семи.

Количество N ячеек разрядов регистра развертки соответствует числу импульсов квантования по времени между моментом посылки ЗИ и моментом, соответствующим дистанции шкалы

$$N = D_{\text{ш}} / (c \cdot \tau_{\text{кв}}).$$

Например, для $D_{\text{ш}} = 6$ миль и $\tau_{\text{кв}} = 0.2$ мкс N должно быть не меньшим 370. Для хранения данных, соответствующих 25 милям обзора при точности 0.25 кб, необходимо примерно 1020 ячеек, синхронизируемых при частоте 3.2 МГц. Изменение продолжительности развертки на других шкалах дальности РЛС может учитываться изменением числа ячеек в регистре либо интервала квантования $\tau_{\text{кв}}$.

Отметим также, что значение в ячейке регистра соответствует определенной s посылке ЗИ после прохождения осевой линией луча антенны стандартного направления, например, на «север». Пеленг P_s , по которому направлена осевая линия «лепестка» антенны в момент посылки ЗИ, получается с помощью преобразователя угла поворота антенны в цифровой код.

Таким образом, значение Z_{sr} рассматриваемого в одном обзоре разряда регистра соответствует его номеру r по дальности, и номеру посылки s ЗИ, начиная от стандартного направления. Иными словами, Z_{sr} - это цифровое значение видеосигнала, соответствующее полярным координатам D_r , P_s в координатной системе с началом в месте антенны РЛС судна оператора.

3.4. Хранение РЛ-изображения в памяти

Представляемое на экране РЛ-изображение можно хранить в цифровом виде, если записать в память значения регистра развертки, соответствующие всем последовательным посылкам ЗИ при одном обороте антенны, и обновлять эти значения при ее других оборотах.

		Номер разряда регистра развертки																	
		r71	r72	r73	r74	r75	r76	r77	r78	r79	r80	r81	r82	r83	r84	r85	r86	r87	r88
Номер посылки ЗИ	S181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S182	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S183	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0
	S184	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	0	0	0	0
	S185	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	2	3	2	2	1	0	0	0
	S186	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	5	4	3	2	0	0	0
	S187	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	4	5	2	0	0	0	0
	S188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	1	2	0	0	0
	S189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	0	0	0	0
	S190	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0
	S191	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S192	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	S193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 3.5. Часть матрицы последовательных значений регистра развертки, записанных в памяти

Запись РЛ-изображения в памяти можно представить в виде матрицы значений Z_{sr} . Часть этой матрицы при восьмеричном квантовании РЛ-сигнала по уровню представлена на рис. 3.5. Столбцы матрицы r1, r2, r3, ... соответствуют разрядам регистра развертки, а строки s1, s2, s3, ... - посылкам ЗИ.

Путем анализа ячеек памяти устанавливается принадлежность областей значащих цифр к тому или к другому реальному или ложному объекту. Область значащих цифр в матрице РЛ-изображения, соответствующая облучаемому объекту, является его цифровой отметкой (цифровым образом). При бинарном квантовании она является областью единиц.

Количество разрядов регистра, занимаемое значащими цифрами (на рис. 3.5 по горизонтали), характеризует *протяженность объекта по дистанции*. Число последовательных посылок (по вертикали), после которых возникали в регистре значащие цифры, представляют *размер объекта по пеленгу*.

Если интервал квантования по времени выбран в интервале $\tau_{и} > \tau_{кв} > \tau_{и}/2$, то после одиночного облучения идеальный эхосигнал от точечного объекта представится значащей (отличной от нуля) цифрой в одном разряде регистра развертки. При последовательных посылках, пока луч антенны проходит через точечный объект, он будет облучен несколько раз. В результате идеальная цифровая РЛ-отметка этого объекта будет представлять в матрице последовательность значащих цифр в одном разряде, на рис. 3.5 в ячейках от (s182,r74) до (s187,r74). Протяженность этой отметки по пеленгу соответствует ширине диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости.

Полученный при одном зондировании от протяженного по дистанции объекта отраженный сигнал представляется рядом значащих цифр в соседних ячейках регистра, как показано, например, на рис. 3.4,в. Размер РЛ-отметки

протяженного по пеленгу объекта превышает Ψ_r . Поэтому идеальная цифровая РЛ-отметка сосредоточенного объекта является областью большего числа значащих цифр, чем отметка точечного объекта. На рис. 3.5 отметка сосредоточенного объекта показана областью значащих цифр в блоке с диагональю (s183,r81):(s190,r85).

В реальных условиях из-за влияния помех идеальные отметки искажаются и в областях значащих цифр могут быть внутренние пропуски и пропадание значений на границах. Появляются и вызванные маскирующими объектами помехами ложные области значащих цифр. Возможны в матрице последовательных значений регистра развертки и отдельные цифры, соответствующие всплескам шума в выходном сигнале приемника РЛС. В матрице они представляются как обособленные среди нулей значения. На рис. 3.5 – это (s190,r72) и (s192,r77).

В памяти РЛ-системы находятся матрицы значений регистра развертки для нескольких последних обзоров РЛС. Это позволяет с помощью компьютера производить глубокий анализ РЛ-информации с целью как отделения полезных сигналов от помех, так и оптимизации процесса обработки РЛ-информации.

В ряде ССП для ускорения обработки и ослабления требований к вычислительному устройству используется бинарное квантование РЛ-сигнала по уровню и бинарное представление РЛ-изображения в памяти. Однако ясно, что применение цифровых отметок больших размерностей дает возможность повысить качество обработки РЛ-информации и, в частности, разделить отметки ложных и реальных объектов.

Следует также отметить, что возможность анализа цифрового в виде матрицы представления РЛ-изображения и исключения из этой матрицы значений, вызванных действием помех, является одним из путей улучшения качества радиолокационного изображения с помощью средств компьютерной техники.

3.5. Принципы определение положения «целей», их обнаружения и распознавания

Нахождение координат «целей». Возможны различные способы получения в СПС пеленгов в цифровом коде. Если бы антенна РЛС вращалась со строго постоянной скоростью, то определение пеленга можно было бы провести путем подсчета количества посылок ЗИ от момента, когда осевая линия луча антенны направлена на север до момента прихода сигнала от «цели». Однако в реальных условиях вследствие несовершенства механизма вращения антенны, переменной ветровой нагрузки на нее скорость вращения антенны будет непостоянной и описанный способ не обеспечит требуемую точность. Результаты лучше, когда имеется датчик текущего пеленга (или курсового угла - $KУ$), с которого можно снимать и записывать в память значение пеленга ($KУ$) при каждой посылке ЗИ.

Основным элементом такого датчика является преобразователь угла поворота антенны в цифровой код.

Таким образом, пеленг Π_s , отвечающий значению Z_{sr} , находится путем снятия в момент посылки s ЗИ отсчета с преобразователя в цифровой код угла поворота антенны. Соответствующая Z_{sr} дистанция определяется номером разряда регистра развертки, в котором записано это значение.

Судно-цель в общем случае относится к сосредоточенным РЛ-объектам. Его отметка является областью значащих цифр. Поэтому положение «цели», допустим с номером J , характеризуется полярными координатами ЦМ ее цифровой отметки, которые находятся по формулам:

$$\hat{D}_J = \frac{\sum_s \sum_r Z_{sr} D_r}{\sum_s \sum_r Z_{sr}}, \quad \hat{\Pi}_J = \frac{\sum_s \sum_r Z_{sr} \Pi_s}{\sum_s \sum_r Z_{sr}}, \quad (3.1)$$

где Z_{sr} - значения, принадлежащие отметке «цели».

Скобка над обозначениями координат означает, что они определены с погрешностями и отличаются от истинных значений D_J , Π_J . Эти погрешности являются следствием влияния помех распространению и приему РЛ-сигналов, изменения отражающей поверхности судна при качке, погрешностей пеленга из-за люфта и мертвого хода в антенно-поворотном устройстве, погрешностей квантования видеосигналов и других причин. Получаемые по формуле (3.1) \hat{D}_J , $\hat{\Pi}_J$ считают *измеренными значениями координат судна* в периоде одного обзора антенны. Место, характеризуемое этими полярными или связанными с ними другими координатами, называется *засечкой «цели»*.

Обнаружение «целей». Термин «обнаружение» означает принятие решения о наличии «цели» в зоне обзора РЛС. Используется в СПС обнаружение «цели» *в кольце дальности* (охранном кольце), *в двух охранных кольцах*, *в секторе либо в области*, образуемой специально используемыми (барьерными) линиями, *либо во всей зоне РЛ-обзора* [17].

В основу обнаружения СЦ положено то обстоятельство, что отметка любой «цели», даже точечной, состоит из пачки отраженных импульсов, что приводит при последовательных посылках ЗИ к появлению цифр, превышающих порог шума (значимых цифр), в одном или нескольких соседних разрядах регистра развертки.

При выявлении «цели» в кольце дальности анализируются разряды регистра развертки, соответствующие по дистанции этому кольцу [15]. Если в каком-нибудь из этих разрядов появится несколько значимых цифр подряд, то это будет свидетельствовать об обнаружении «цели».

Существуют различные критерии обнаружения, например **3-п-2**. Он означает, что если в каком-то из анализируемых разрядов регистра развертки

в процессе обновления содержимого при последовательных посылках появилось три значимых цифры подряд, то это соответствует началу облучения объекта. Пропуск двух значимых цифр подряд указывает на конец облучения объекта.

При обнаружении «цели» в двух охранных кольцах анализируются соответствующие им разряды регистра развертки; а при обнаружении «целей» во всей зоне обзора - все разряды этого регистра.

Классификация РЛ-объектов состоит в определении их типа по цифровым образам. Классификация объектов, наблюдаемых с помощью РЛС, производится в зависимости от размеров их цифровых отметок.

Так, если объекту соответствуют превышающие порог шума цифры только в одном разряде и их количество с начала до конца облучения соответствует ширине диаграммы направленности антенны, то обнаруженный объект является точечным.

Если объект не точечный, но протяженность его цифрового образа по дистанции и пеленгу не превышает критерия, выбранного для опознания судна, например 450 м и 5^0 , то считается, что это отметка судна.

При больших размерах цифровой области РЛ-отметки относят к берегу.

Распознавание объектов. Большое значение при обнаружении, классификации РЛ-объектов и обработке их данных имеет защита от маскирующих непреднамеренных помех от морского волнения, дождя, тумана, низких облаков, снеговых зарядов, соседних РЛС. Для выделения таких помех используются довольно сложные алгоритмы распознавания. Они предусматривают анализ областей цифровых отметок в матрицах, соответствующих нескольким последним обзорам РЛС.

В основе распознавания РЛ-объектов лежат отличия амплитудно-временных характеристик получаемых от них эхосигналов, которые находят отражение в их цифровых образах. При ясной атмосфере и отсутствии волнения эхосигналы от берега, особенно скалистого, на дистанциях до 24 миль по амплитуде могут в десятки раз превышать уровень шумов приемника. Области цифровых отметок берега, имеющих размерность больше бинарных, обычно имеют четко выраженный контур, отсутствие внутренних пропусков значащих цифр, определенную стабильность по форме и значениям при последовательных обзорах.

При таких же условиях эхосигналы от средне- и крупнотоннажных судов на дистанциях до 10-12 миль по амплитуде значительно превышают шумы приемника. Области их цифровых отметок имеют ограниченные размеры, обычно являются выпуклыми, либо близкими к выпуклым, имеют четкий контур, не содержат внутренних пропусков значащих цифр. Положение РЛ-отметок судов при последовательных обзорах меняется с определенной закономерностью и соответствует их возможностям движения с ограниченной скоростью с учетом случайных погрешностей наблюдения. Площадь области цифровой РЛ-отметки судна зависит от размеров его надводной части и ракурса.

Цифровые *образы низких облаков* имеют размытый контур, обычно небольшую мало изменяющуюся амплитуду, внутренние пропуски значащих цифр, относительно быстрое и случайное изменение формы при последовательных обзорах.

Помехи от дождя могут напоминать интенсивный шум приемника, либо образовывать протяженные по пеленгу и дистанции примерно однородные по амплитуде отметки.

Цифровые образы взволнованной поверхности моря весьма разнообразны. С возрастанием интенсивности волнения они дробятся на отдельные нечеткие отметки с пропусками значащих цифр. Форма и положение центра массы отметок, значения амплитуды эхосигналов в них, меняются довольно быстро и хаотично при последовательных обзорах.

Задача автоматического распознавания полезных сигналов в СПС и отделения их от помех в условиях плохой погоды (дождя, волнения, атмосферных разрядов) довольно сложна как из-за большого разнообразия встречаемых ситуаций «сигнал-помеха», так и от недостаточной изученности влияния самих помех.

Для повышения эффективности обработки РЛ-сигнала в условиях интенсивных помех используется адаптивный подход. Он включает непрерывное распознавание вида текущей ситуации «сигнал-помеха» и выбор для нее наиболее подходящего алгоритма обработки данных из имеющегося набора процедур. Этот набор устанавливается при проектировании СПС на основе анализа представительного статистического материала, полученного при исследованиях информации судовых РЛС в различных условиях эксплуатации.

3.6. Нахождение параметров траекторий СЦ

Постановка задачи. Непрерывные измерения положения «целей» позволяют определить их элементы движения и параметры траекторий. Эта задача ставится следующим образом. При движении «цели» ее центр массы описывает определенную траекторию. На текущий момент времени «цель» на этой траектории характеризуется значениями координат, курсом и скоростью. Из-за ошибок измерений получаемые последовательно с помощью РЛС засечки «цели» оказываются разбросанными относительно ее действительной траектории.

Требуется, через определенное число последних засечек «цели» провести сглаживающую их линию, которая была бы близка к участку действительной траектории и давала бы возможность оценить место, курс и скорость «цели» на текущий момент и осуществить прогноз ее движения на определенное время вперед.

Наиболее просто эта задача решается, когда СЦ сохраняет курс и скорость. В этом случае засечки сглаживаются с помощью прямой линии, скорость движения «цели» по которой на интервале сглаживания считается постоянной. Т.е. перемещение «цели» описывается линейной моделью.

При маневрах для представления траектории СЦ на сглаживаемом участке чаще всего используется квадратичная модель перемещения с постоянным ускорением. Оценка ее параметров по засечкам СЦ является более сложной, чем линейной модели, а погрешность прогноза движения - больше.

При расчете кинематических параметров «цели» в процессе сглаживания ее засечек циклически выполняются следующие операции [20]:

- определяется принадлежность получаемой отметки траектории «цели»;
- находятся координаты очередной засечки;
- фильтрацией уточняются положение, курс, скорость «цели»;
- экстраполируется положение СЦ на момент следующего обзора.

Определение принадлежности отметки траектории «цели». В СПС обычно реализуется ручной и автоматический захват СЦ. После захвата «цели» процесс ее сопровождения разделяется на два этапа:

- переходной;
- установившийся.

При автосопровождении отделяются принадлежащие «цели» отметки от отметок других судов. Этот процесс называется селекцией.

Селекция отметок для траекторий производится с помощью стробирования. Под *стробом* в рассматриваемом случае понимается область предполагаемого появления отметки «цели» на момент следующего обзора РЛС. К траектории СЦ привязывается только попавшая в строб отметка. Это исключает привязку к траектории отметок других объектов.

Формирование стробов состоит в определении их границ некоторой совокупностью чисел [15]. Например, в полярной системе координат границы строба задаются двумя значениями дальности и пеленга. Как правило, центр строба совпадает с экстраполированной отметкой «цели» на момент следующего обзора. Размеры строба выбираются из условия обеспечения заданной вероятности попадания в него будущей отметки.

Так как на погрешность экстраполяции движения «цели» влияет точность определения параметров ее движения, то площадь строба обычно зависит от стадии сопровождения. При захвате «цели» на сопровождение размер строба самый большой. В переходном процессе формирования траектории с каждой новой отметкой «цели» точность определения ее кинематических параметров и прогнозирования положения улучшаются, поэтому уменьшаются и размеры строба. В установившемся режиме сопровождения точность прогнозирования перемещения «цели» становится неизменной, а размеры строба - постоянными и минимальными.

При уменьшении размеров строба появляется возможность:

- своевременного обнаружения изменения в перемещении объекта;
- уменьшения вероятности «обмена» объектов (наложения их стробов друг на друга) при малых расстояниях между ними;
- более легкого обнаружения эхосигнала на фоне помех.

В некоторых СПС размер строба установлен одним для обеих стадий сопровождения. В результате при устойчивом сопровождении величина

строба оказывается завышенной, что усложняет анализ информации внутри его. Кроме того, в этом случае возрастает вероятность «обмена» объектов.

Обычно в СПС размеры стробов оптимизируются в зависимости от стадии сопровождения, уровня полезного сигнала и помех, скорости движения СЦ. При возникновении ситуации возможного «обмена» объектов, когда стробы двух или нескольких «целей» перекрываются, сопровождение происходит «по памяти», пока стробы не разойдутся.

Если эхосигнал от сопровождаемого объекта по каким то причинам не обнаружен в стробе в одном из обзоров РЛС, то система сопровождения продолжает слежение, вырабатывая стробы с центром в экстраполируемом на момент следующего обзора месте объекта. Если отметка «цели» не появится в пяти-семи следующих обзорах, подается сигнал о ее потере.

Таким образом, с помощью компьютерной техники осуществляется непрерывное наблюдение за каждым сопровождаемым судном в отдельности, при котором отметки судов не могут быть перепутаны.

Гипотезы о характере перемещения СЦ. Определения параметров траекторий основывается на получаемых в каждом обзоре засечках «цели». Решение этой задачи требует знания основных закономерностей движения судов, обусловленных используемыми режимами движения, инерционными свойствами, маневренными возможностями.

Можно установить, что перемещение «целей» складывается из случайного чередования участков движения постоянным курсом и скоростью и участков маневра, причем первые значительно больше вторых. Траектории движения судна на этих участках неодинаковы. Поэтому и гипотезы об изменении координат «целей» на них различны, чтобы быть адекватными характеру перемещения. Кроме того, из-за случайного по времени чередования названных участков, требуется для каждой «цели» в процессе сопровождения непрерывно контролировать соответствие принятой на данном этапе гипотезы характеру ее перемещения.

Известно, что на переходе морем суда в основном идут одним курсом и скоростью. Но даже в этом случае перемещение судов редко бывает строго стабильным из-за влияния внешних факторов и погрешностей стабилизации курса. Поэтому *при рассмотрении участков движения СЦ без изменения курса и скорости опираются на гипотезу прямолинейного равномерного перемещения с учетом возможных от него небольших отклонений (модель линейного тренда)*. Этой моделью служит полином первой степени с подстраиваемыми в зависимости от оперативной информации параметрами. Вероятность значительного изменения параметров с течением времени считается малой.

Рассмотрим движение «цели» в прямоугольной системе координат XGY , начало G которой связано с точкой земной поверхности, ось GY направлена на север, а ось GX – на восток. Модель линейного тренда для изменяющихся координат X , Y судна одинакова, поэтому достаточно привести ее только для X . Когда засечки «цели» производятся через оборот

антенны (либо другой постоянный интервал времени), эта модель может быть представлена в виде

$$\nabla^2 X(i) = \varepsilon_x(i). \quad (3.2)$$

В этом выражении:

∇^2 – вторая разность;

$X(i)$ - истинное значение координаты ЦМ «цели» на момент i -ой засечки;

$\varepsilon_x(i)$ – погрешность типа «белого шума», характеризующая возможные малые отклонения от линейного изменения координаты «цели».

Погрешности $\varepsilon_x(i)$, $\varepsilon_y(i)$ в моделях линейного тренда, отражающие изменения координат X и Y «цели», имеют очень малые дисперсии, которые ниже считаются одинаковыми и характеризуются значением σ_s^2 .

Осветим теперь математическое представление перемещения при маневрировании. Наиболее распространены при расхождении судов маневры курсом, на которые приходится свыше 95% общего числа маневров, совершаемых судами при эксплуатации. Для описания траектории маневрирующего судна обычно используют одну из двух моделей.

В основе первой модели лежит *отражение перемещения на участках маневра моделью квадратичного тренда* - полиномом второй степени с подстраиваемыми в зависимости от оперативной информации параметрами.

Вторая модель проще. Известно, что при малом интервале дискретности любую криволинейную траекторию можно представить отрезками прямолинейного равномерного движения. Так как интервал между засечками «цели» мал, то *криволинейное перемещение судна описывают моделью линейного тренда с подстраиваемыми параметрами*, но величина возможного изменения их значений устанавливается в соответствии со способностями «цели» изменять режим движения.

3.7. Координатные системы для расчета ЭДЦ

Для получения обоснованных решений по устранению угрозы столкновения требуется знать следующие характеризующие «цели» параметры:

- пеленг и дистанция;
- курс и скорость (относительно: СО, грунта и/или моря);
- курсовой угол и ракурс (для определения вида ситуации сближения);
- ДСРА и ТСРА (для оценки опасности столкновения).

Эти параметры в СПС рассчитываются по данным РЛС и основных навигационных приборов. Согласно действующим требованиям ИМО (MSC.64/67, 1996, приложение 4 – Эксплуатационные требования к РЛС, и Резолюция А.823, 1995 – Эксплуатационные требования к САРП)

радиолокационное оборудование должно принимать данные гирокомпаса, относительного лага, электронной позиционной системы, а также *обеспечивать стабилизацию изображения относительно воды и грунта*. В качестве датчика скорости может использоваться система точного определения места, например, GPS.

Курс и скорость «цели» получаются в СПС путем сглаживания ее радиолокационных засечек. В находящейся в эксплуатации СПС можно встретить выполнение этой операции в разных системах координат.

Исходной информацией при определении элементов движения «целей» являются измеренные в каждом РЛ-обзоре полярные координаты их засечек: *пеленги* и *расстояния*. Непосредственное использование этих данных при расчете ЭДЦ затруднено из-за неравномерности их приращения при прямолинейном равномерном движении «цели».

Для устранения этого затруднения от *пеленгов* и *расстояний* переходят к прямоугольным координатам отметок «целей» в системе XU , ось U которой направлена на север, а ось X - на восток. Начало этой системы может быть связано с разными точками. Рассмотрим три координатные системы XU , которые могут быть применены при определении курса и скорости «цели».

Координатная система XU с началом в месте СО. Систему с началом в месте судна оператора обозначим X_0U (рис. 3.6,*а*). Координаты «цели» J в этой системе (относительно СО) обозначим X_{0J} , Y_{0J} . По измеренным пеленгу и дистанции они находятся по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_{0J} &= \mathcal{D}_J \cdot \sin \mathcal{H}_J \\ Y_{0J} &= \mathcal{D}_J \cdot \cos \mathcal{H}_J \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

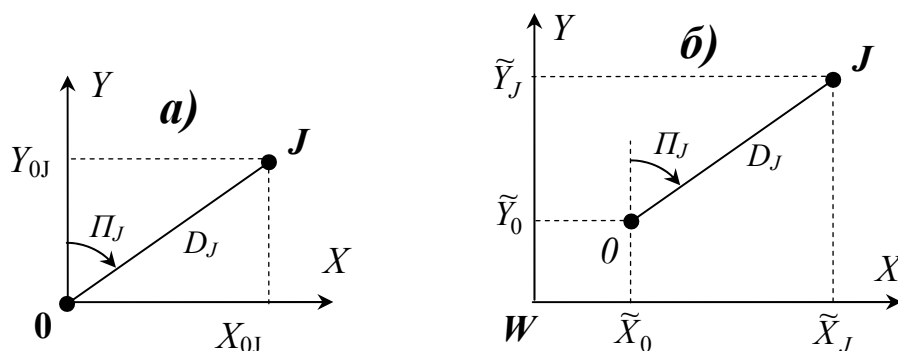


Рис. 3.6. Координатные системы для расчета ЭДЦ

а) С началом в месте судна оператора; *б)* Связанная с водной массой.

Значения X_{0J} , Y_{0J} называют измеренными. Они неточны из-за погрешностей \mathcal{D}_J , \mathcal{H}_J . Фильтрацией последовательно получаемых при

обзорах значений X_{0J} , Y_{0J} находится курс k_{0J} и скорость u_{0J} по отношению к СО. По этим элементам и данным ГК, лага, приемника GPS система находит характеризующие «цели» параметры.

Недостаток сглаживания засечек «цели» в системе XOY состоит в нарушении равномерного изменения X_{0J} , Y_{0J} , когда СЦ сохраняет курс и скорость, а маневрирует судно оператора. Это усложняет алгоритм обработки.

Координатная система XU , связанная с «морем». Начало этой системы обозначим W , а саму систему - XWU (рис. 3.6,б) Координаты «цели» в этой системе находятся по формулам

$$\left. \begin{aligned} \tilde{X}_J &= \tilde{X}_0 + \mathcal{D}_J \cdot \sin \mathcal{H}_J = \tilde{X}_0 + X_{0J} \\ \tilde{Y}_J &= \tilde{Y}_0 + \mathcal{D}_J \cdot \cos \mathcal{H}_J = \tilde{Y}_0 + Y_{0J} \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Входящие в это выражение координаты \tilde{X}_0 , \tilde{Y}_0 собственного судна по отношению к воде находятся по информации ГК и относительного лага.

Результатом сглаживания засечек «цели» в системе XWU являются ее курс \tilde{K}_J и скорость \tilde{V}_J относительно воды. Так как этот курс близок к истинному курсу \bar{K}_J «цели», то в СПС, с неподключенным приемником GPS, значение \tilde{K}_J используется для определения ее ракурса.

Недостатком фильтрации засечек «цели» в системе XWU является влияние погрешностей счисления на точность расчета ее курса и скорости.

Координатная система XU , начало G которой связано с Землей. Обозначим эту систему XGU . Координаты «цели» в ней по измеряемым значениям пеленга и дистанции рассчитываются по формулам

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{X}_J &= X_0 + \mathcal{D}_J \cdot \sin \mathcal{H}_J = X_0 + X_{0J} \\ \mathcal{Y}_J &= Y_0 + \mathcal{D}_J \cdot \cos \mathcal{H}_J = Y_0 + Y_{0J} \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Координаты X_0 , Y_0 судна оператора относительно грунта на моменты измерений находятся по данным бортовой аппаратуры GPS.

В СПС с неподключенным приемником GPS для получения курса и скорости «целей» относительно грунта используется специальный режим - «опорный объект», позволяющий автоматически учитывать влияющее на СО течение. Это выполняется стабилизацией изображения относительно какого-либо точечного или сосредоточенного заведомо неподвижного объекта, который берется на автосопровождение. Этот режим применяется только в районах, где имеются опорные объекты. При подключении к СПС бортовой аппаратуры GPS необходимость в режиме «опорный объект» отпадает.

При сглаживании координат X_J , Y_J находится курс K_J и скорость V_J «цели» относительно грунта. Следует помнить, что при наличии течения K_J не будет указывать направление ее ДП. Поэтому значение K_J не должно использоваться для расчета ракурса «цели».

Ниже предполагается, что бортовой приемник GPS подключен к СПС, и *сглаживание выполняется в системе XGY*, связанной с Землей. Погрешности e_x , e_y координат X_J и Y_J считаются «белыми шумами» с одинаковой дисперсией σ_p^2 .

3.8. Алгоритм вычисления ЭДЦ

Требования к алгоритму. Кинематические параметры сопровождаемых «целей» находятся сглаживанием их засечек. К алгоритму выполнения этой операции предъявляются следующие требования [20]. Он должен:

- обеспечивать максимальную точность выходных данных за минимальный интервал времени с помощью процедур, дающих возможность получать результаты в каждом цикле вычислений с высоким быстродействием;
- учитывать возможность маневрирования СО и «целей»;
- обладать помехоустойчивостью и обеспечивать выдачу результатов при «пропусках засечек», наличии помех и ложных эхосигналов;
- быть рекуррентным (приспособленным для циклического счета);
- не требовать хранения в памяти прошлых засечек «цели».

В связи с последним следует обратить внимание, что в соответствии с требованиями ИМО из прошлой информации в памяти системы нужно хранить координаты засечек «целей» в течение не менее 8 минут для обеспечения просмотра их «следов». Такая возможность позволяет определить, совершала ли «цель» маневр, когда оператор отвлекался от экрана СПС.

Метод расчета. Нахождение кинематических параметров «цели» основывается на теории оптимальной фильтрации. Для режима движения СЦ постоянным курсом и скоростью эта задача ставится следующим образом.

Возможные отклонения в изменении координат «цели» от равномерного прямолинейного движения малы. Начиная с момента захвата «цели», через постоянный интервал времени Δ_t , равный времени оборота антенны, измеряются координаты ее отметок. Требуется после каждой засечки найти уточненные значения координат и составляющих скорости «цели».

Оценка кинематических параметров «целей» путем сглаживания ниже характеризуется в системе координат XGY , связанной с Землей. Для сглаживания засечек применяется так называемый $\alpha\beta$ -фильтр [20], описываемый рекуррентными соотношениями, которые приведены только для координаты X , так как для Y они аналогичны:

$$\left. \begin{aligned} X_J(i) &= X_{JE}(i) + \alpha(i) \cdot [\mathcal{X}_J(i) - X_{JE}(i)] \\ \dot{X}_J(i) &= \dot{X}_{JE}(i) + \beta(i) \cdot [\mathcal{X}_J(i) - X_{JE}(i)] / \Delta_t \end{aligned} \right\}, \quad (3.6)$$

В этих выражениях:

i - номер засечки «цели» с момента захвата ее на сопровождение;

$\alpha(i)$, $\beta(i)$ – коэффициенты сглаживания;

$X_J(i)$, $\dot{X}_J(i)$ - получаемые в момент i сглаженные значения координаты и скорости ее изменения;

$\mathcal{X}_J(i)$ – измеренное значение координаты СЦ;

$X_{JE}(i)$, $\dot{X}_{JE}(i)$ - экстраполированные на момент i -го измерения значения координаты и скорости ее изменения.

Значения $X_{JE}(i)$, $\dot{X}_{JE}(i)$ находятся по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_{JE}(i) &= X_{JE}(i-1) + \dot{X}_{JE}(i-1) \cdot \Delta_t \\ \dot{X}_{JE}(i) &= \dot{X}_{JE}(i-1) \end{aligned} \right\}. \quad (3.7)$$

Случайное пропадание отметки «цели» в каком-либо обзоре не прерывает слежения за ней. В этом случае в качестве сглаженных принимаются экстраполированные координаты СЦ. Совокупность формул (3.6), (3.7) называется $\alpha\beta$ -фильтром засечек «цели».

Курс и скорость СЦ находятся по рассчитанным при фильтрации составляющим скорости

$$V_J = \sqrt{\dot{X}_J^2 + \dot{Y}_J^2}, \quad K_J = \arctg \frac{\dot{X}_J}{\dot{Y}_J}, \quad (3.8)$$

где $\dot{X}_J = \dot{X}_J(i)$, $\dot{Y}_J = \dot{Y}_J(i)$.

Как отмечалось, в процессе сопровождения СЦ выделяют два этапа: *переходной* (формирования траектории) и *установившийся*. На первом этапе, который начинается с момента захвата «цели», с привязкой к траектории новых отметок точность оцениваемых параметров траектории улучшается. На втором этапе она практически неизменна.

При сглаживании засечек «целей» на участках маневра также может использоваться $\alpha\beta$ -фильтр. Однако более подходящим в этом случае является $\alpha\beta\gamma$ -фильтр, основанный на предположении, что траектории имеют квадратичный тренд [20].

Регулирование коэффициентов сглаживания фильтра в процессе сопровождения СЦ. Одним из основных вопросов сглаживания засечек «целей» является определение текущих значений весовых множителей $\alpha\beta$ -

фильтра. Структура этого фильтра оптимальна, когда погрешности измеряемых координат X_J, Y_J «цели» являются «белым шумом» и модель (3.2) адекватно описывает процесс ее движения. В этом случае после захвата СЦ на переходном этапе формирования траектории коэффициенты сглаживания зависят от номера i привязываемой к траектории засечки «цели» и отношения $\mu = \sigma_s / \sigma_p$ средней квадратичной величины (СКВ) σ_s «белого шума» в правой части модели (3.2) к СКВ σ_p погрешности измеряемой координаты.

В установившемся режиме фильтрации значения $\alpha(i), \beta(i)$ постоянны и определяются только величиной μ . Значения α_u, β_u коэффициентов сглаживания в этом режиме можно найти по формулам

$$\alpha_u = 1 - \chi, \quad \beta_u = \alpha_u^2 / (1 + \chi). \quad (3.9)$$

Параметр χ лежит в интервале $[0, 1]$ и является корнем уравнения

$$\chi^4 - (4 + \mu^2)\chi^3 + (6 - 2\mu^2)\chi^2 - (4 + \mu^2)\chi + 1 = 0. \quad (3.10)$$

Заметим, что чем меньше μ , тем ближе χ к единице. В идеальном случае, когда движение «цели» является строго линейным и равномерным ($\sigma_s = 0$ и $\mu = 0$), значение $\chi = 1$. Отсюда следует равенство нулю установившихся значений коэффициентов сглаживания. Это говорит о том, что в этом идеальном случае при погрешностях засечек типа «белого шума» после окончания переходного процесса фильтрации положение и элементы движения «цели» будут найдены абсолютно точно.

Когда $\sigma_s = 0$, значения $\alpha(i), \beta(i)$ определяются только номером i привязываемой к траектории засечки «цели» после ее захвата на сопровождение [20]

$$\alpha(i) = \frac{2(2i-1)}{i(i+1)}, \quad \beta(i) = \frac{6}{i(i+1)}. \quad (3.11)$$

Движение СЦ не является строго прямолинейным и равномерным, но при этом значение σ_s является значительно меньшим σ_p . Следовательно, значение μ будет близким к нулю. Поэтому значения коэффициентов сглаживания в переходном процессе фильтрации близки к значениям, получаемым по формулам (3.11). Обычно эти формулы и используются при фильтрации засечек, но лишь до того момента, когда $\alpha(i), \beta(i)$ практически

станут равными значениям α_u, β_u , соответствующим значениям σ_s и σ_p для данных условий плавания. После этого при фильтрации используются значения α_u, β_u .

Интервал, в течение которого после захвата «цели» на сопровождение в процессоре накапливается достаточно информации для достижения требуемой точности определения ЭДЦ, считается *постоянной времени фильтра*. На этом интервале весовые множители уменьшаются. После него сопровождение считается установившимся, при котором весовые множители в формулах фильтрации (за исключением особых случаев) остаются постоянными.

Для неманеврирующей «цели» постоянная времени фильтра выбирается в пределах 2-3 минут (время получения порядка 50 ее засечек в СПС судна оператора, когда оно не относится к скоростным судам). Приблизительно после получения координат 15-17 отметок «цели», движущейся со средней скоростью, направление и длина вычисленного ее вектора скорости при получении новых отметок резко не изменяется, и этот вектор может быть показан на экране. Согласно требованиям ИМО вектор скорости «цели» должен быть отображен в течение времени, не большего 1-ой минуты после захвата ее на сопровождение. На расчет ЭДЦ с требуемой точностью отводится период, не больший 3-х минут после начала сопровождения «цели».

При сглаживании засечек на участках маневра, если он представляется моделью линейного тренда, также используется $\alpha\beta$ -фильтр, только с меньшим значением постоянной времени (соответственно будут больше коэффициенты сглаживания), чем при сопровождении неманеврирующей «цели». Так, если при сглаживании отметок «целей», сохраняющих режим движения, постоянная времени $\alpha\beta$ -фильтра принимается равной 2-3 минутам, то для маневрирующих СЦ она берется меньшей.

При большой постоянной времени вес новой информации при оценке параметров траектории мал, и фильтр является инерционным. Он медленно реагирует на возникающие отклонения в движении «цели» от выбранной модели перемещения.

При малой постоянной времени фильтр быстрее реагирует на отклонения траектории СЦ от прямолинейной. Однако точность вычисления ЭДЦ в этом случае низка из-за малого количества сглаживаемых значений и представления участка траектории прямой линией.

Для возможности подстройки $\alpha\beta$ -фильтра к различным режимам движения «целей» может предусматриваться установка нескольких значений его постоянной времени [17]. Из-за случайного (для СО) характера смены в движении СЦ прямолинейных участков и участков маневров, в ряде СПС предусмотрена параллельная обработка засечек двумя $\alpha\beta$ -фильтрами: с большой постоянной времени и малой. Так как вероятность первого режима выше, то он считается основным.

Получаемые по второму алгоритму результаты учитываются, начиная с момента обнаружения системой маневра сопровождаемого судна. Он может выявляться на основе различных критериев согласия, с помощью которых определяется, соответствуют ли получаемые засечки «цели» гипотезе прямолинейного равномерного движения.

В СПС коэффициенты фильтра регулируются в следующих ситуациях:

- в переходном периоде после захвата «цели»;
- во время маневров СЦ и СО;
- при изменении точности удержания СО на курсе и/или уровня погрешностей засечек СЦ;
- при возникновении пропусков в получении засечек;
- при сближении двух «целей» на малое расстояние, на котором может произойти «обмен объектов»;
- после сопровождения СЦ «по памяти».

В последнем случае для предотвращения обмена объектов коэффициенты сглаживания принимаются равными нулю. Т.е. сопровождение производится на основе прошлой информации, пока стробы «целей» перестанут перекрывать друг друга. Кроме того, так как элементы движения быстроходных «целей» определяются быстрее, чем тихоходных, то коэффициенты сглаживания и постоянная времени фильтра в период формирования траектории адаптируются к скорости «цели», обеспечивая достижение заданной точности вычисления ЭДЦ в кратчайший срок.

3.9. Нахождение характеризующих ситуацию параметров

По полученным фильтрацией при каждом оборота антенны РЛС курсу, скорости, координатам места «цели» вычисляются характеризующие ситуацию параметры. В процессе расчета выполняются следующие операции.

1) Уточняются дистанция D_{0J} , пеленг Π_{0J} «цели» и находится обратный пеленг Π_{J0} (пеленг с судна-цели на СО):

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_X = X_J - X_0 \\ \Delta_Y = Y_J - Y_0 \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} D_{0J} = \sqrt{(\Delta_X)^2 + (\Delta_Y)^2} \\ \Pi_{0J} = \arctg(\Delta_X / \Delta_Y) \\ \Pi_{J0} = \Pi_{0J} \pm 180^0 \end{array} \right\}. \quad (3.12)$$

2) Рассчитываются относительные курс и скорость «цели» (k_{0J} , u_{0J})

$$\left. \begin{array}{l} \dot{X}_{0J} = \dot{X}_J - \dot{X}_0 \\ \dot{Y}_{0J} = \dot{Y}_J - \dot{Y}_0 \end{array} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} u_{0J} = \sqrt{\dot{X}_{0J}^2 + \dot{Y}_{0J}^2} \\ k_{0J} = \arctg(\dot{X}_{0J} / \dot{Y}_{0J}) \end{array} \right\}. \quad (3.13)$$

где \dot{X}_0, \dot{Y}_0 и $\dot{X}_{0J}, \dot{Y}_{0J}$ - составляющие по осям XGY скорости V_0 судна оператора и относительной скорости u_{0J} «цели».

3) Находится курс \tilde{K}_J «цели» относительно моря, который характеризует направление ее ДП

$$\left. \begin{aligned} \tilde{X}_J &= \tilde{X}_0 + \dot{X}_{0J} \\ \tilde{Y}_J &= \tilde{Y}_0 + \dot{Y}_{0J} \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} \tilde{V}_J &= \sqrt{\tilde{X}_J^2 + \tilde{Y}_J^2} \\ \bar{K}_J &\approx \tilde{K}_J = \arctg(\tilde{X}_J / \tilde{Y}_J) \end{aligned} \right\}. \quad (3.14)$$

В этих выражениях составляющие \tilde{X}_0, \tilde{Y}_0 скорости судна оператора относительно моря получаются по данным ГКК (\bar{K}_0) и относительного лага.

4) Вычисляются курсовой угол q_{0J} и ракурс q_{J0} «цели», определяющие вид ситуации сближения судов (обгон, пересечение курсов, противоположные или почти противоположные курсы).

Курсовой угол q_{0J} «цели» равен выраженной в полукруговом счете разности

$$q_{0J} = \Pi_{0J} - \bar{K}_0. \quad (3.15)$$

Ракурс q_{J0} является представленной в полукруговом счете разности между обратным пеленгом и истинным курсом «цели»

$$q_{J0} = \Pi_{J0} - \bar{K}_J. \quad (3.16)$$

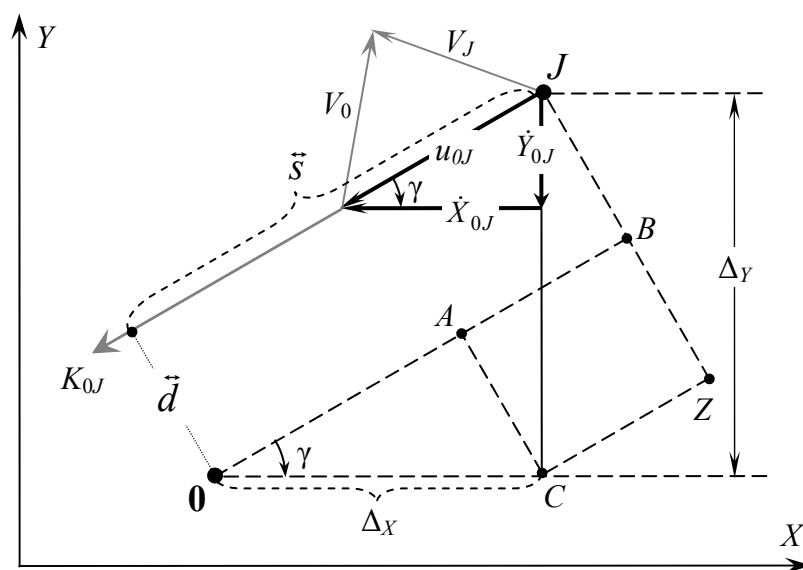


Рис. 3.7. К расчету \vec{d} и \vec{t}

5) Находятся ДСРА (\vec{d}) и ТСРА (\vec{t}) «цели» по формулам

$$\left. \begin{aligned} \vec{d} &= CZ - BZ = \Delta_Y \cdot \cos \gamma - \Delta_X \cdot \sin \gamma \\ \vec{t} &= \frac{\vec{s}}{u_{0J}} = \frac{OA + AB}{u_{0J}} = \frac{\Delta_Y \cdot \sin \gamma - \Delta_X \cdot \cos \gamma}{u_{0J}} \end{aligned} \right\}. \quad (3.17)$$

Эти выражения поясняются рис. 3.7. При расчете ДСРА и ТСРА используются сглаженные значения координат и относительные курс и скорость «целей» [17].

Учитывая, что $\sin \gamma = \dot{Y}_{0J} / u_{0J}$, $\cos \gamma = \dot{X}_{0J} / u_{0J}$, выражения (3.17) можно представить в виде

$$\left. \begin{aligned} \vec{d} &= \frac{1}{u_{0J}} (\Delta_Y \cdot \dot{X}_{0J} - \Delta_X \cdot \dot{Y}_{0J}) \\ \vec{t} &= \frac{1}{u_{0J}^2} (\Delta_Y \cdot \dot{Y}_{0J} + \Delta_X \cdot \dot{X}_{0J}) \end{aligned} \right\}. \quad (3.18)$$

6) По ДСРА и ТСРА с помощью Td -критерия оценивается опасность столкновения.

7) Находятся координаты \vec{X}_J , \vec{Y}_J точки \vec{P}_{0J} , в которой «цель» J будет в момент кратчайшего сближения с судном оператора

$$\left. \begin{aligned} \vec{X}_J &= X_J + V_J \cdot \vec{t} \cdot \sin K_J \\ \vec{Y}_J &= Y_J + V_J \cdot \vec{t} \cdot \cos K_J \end{aligned} \right\}. \quad (3.20)$$

8) Аналогично определяется положение судна оператора на этот момент (точки \vec{P}_{J0}).

ПРИМЕЧАНИЕ: Когда в СПС применяется транспондер АИС, то при обработке вместо сглаженных значений координат, курса и скорости «цели» относительно грунта, а также вычисляемого по формулам (3.14) значения \bar{K}_J используются данные, передаваемые «целью» по линии АИС.

3.10. Достоинства и ограничения радиолокационного оборудования

Достоинства РЛ-аппаратуры. Под *качеством* выходных данных радиолокационного оборудования понимается их соответствие целям задачи предупреждения столкновений. Качество информации оценивается набором показателей, характеризующих отдельные ее свойства: *точность, своевременность, достоверность, полнота* и др.

Основным достоинством радиолокационного оборудования является облегчение труда судоводителей, повышение эффективности их работы. Это достигается, прежде всего, благодаря:

- заблаговременному предупреждению вахтенного помощника о появлении «целей» на заданной дистанции или в заданном секторе;
- наглядности выдаваемой на экране информации о движении «целей», позволяющей быстро оценить опасность столкновения с каждой из них;
- возможности планирования маневра расхождения сразу с несколькими «целями»;
- быстрой проверкой эффективности выбираемого маневра путем его проигрывания.

При ручной прокладке на планшете образованная судами ситуация грубо оценивается через 3 мин. после первой засечки «цели», а удовлетворительный результат получается через 6 мин. При использовании СПС первая оценка находится через 1 минуту, а надежный результат – через 3 минуты. Выдаваемые СПС элементы движения «целей» более точны, чем получаемые построением на маневренном планшете.

Ограничения РЛ-оборудования. На качество информации радиолокационной аппаратуры влияют ограничения РЛС, точность и надежность данных гирокомпаса и лага, недостатки алгоритмов и погрешности обработки информации.

Основные ограничения радиолокационного оборудования перечислены ниже.

1. Не предоставляется информация о подводных препятствиях в зоне обзора, которая необходима при выборе маневра расхождения.

2. Не все «цели» автоматически сопровождаются из-за ограничения их числа или необходимости предварительного захвата.

3. Возможное отсутствие эхосигналов от малых судов, пологого берега даже при нормальных условиях плавания. Неустойчивое сопровождение «целей» со слабыми эхосигналами.

4. Малые объекты обнаруживаются на сравнительно небольшом расстоянии, из-за чего возникает дефицит времени на принятие решений. При сближении малого и крупнотоннажного судна в более сложном положении оказывается последнее, так как, обладая худшими маневренными качествами, имеет меньше времени на принятие решений. Дефицит времени выступает еще рельефнее, когда крупнотоннажное или оба судна имеют высокую скорость хода.

5. По данным РЛС трудно определить размеры «целей».

6. На дистанцию обнаружения и точность определения элементов движения «целей» влияют помехи от моря, осадков, наличие теневых секторов и другие факторы. В условиях сильных снежных зарядов могут быть случаи, когда эхосигналы от окружающих судно объектов вообще невозможно выделить. Все это свидетельствует о том, что по данным РЛС не обеспечивается гарантированное своевременное обнаружение объектов, особенно малых, и их уверенное автосопровождение во всех условиях

плавания. При неустойчивом эхосигнале может произойти сброс СЦ с сопровождения, и информация по ней выдаваться не будет.

7. На качество РЛ-информации влияет бортовая, килевая качка, рыскание СО и СЦ, их маневрирование. В этих условиях, а также при нахождении «целей» в зоне интенсивных помех, не исключена возможность вычисления ошибочных параметров движения.

8. Возможны сбои в сопровождении при близком прохождении наблюдаемых «целей» относительно друг друга.

9. Фильтрация засечек «цели» приводит к задержке выдачи достоверных данных об элементах ее движения до 3-х мин. с момента взятия на сопровождение, к запаздыванию выявления маневра «цели». Маневр СЦ курсом обнаруживается в среднем через 1.5 мин. после его начала. В процессе изменения курса «целью» разность между значением ее курса, рассчитываемым с помощью алгоритма сглаживания, и фактическим значением может быть очень большой. При повороте порядка на 90° она может достигать 50° . По окончании маневра сопровождаемой «цели» ее данные ненадежны в течение 3-4 минут.

10. На сопровождение «целей» влияет разрешающая способность радиолокатора и величина стробов для селекции засечек сопровождаемых объектов. Это может вызвать невозможность получения координат «целей» при движении их вблизи берега и «переброс» маркеров «целей» («обмен объектов») при их близком прохождении друг от друга.

11. Величина погрешностей вычисленных элементов движения СЦ и параметров ситуации требуют их учета при выборе мер по предупреждению столкновений.

На точность выходных данных радиолокационного оборудования влияют:

- флуктуации засечек «цели», состоящие в их перемещении вдоль длины судна на качке и при рыскании;
- несовпадение среднего из засечек с ЦМ судна;
- люфты и мертвые ходы в антенно-поворотном устройстве;
- вызванные качкой наклон оси вращения и параллакс антенны;
- асимметричность диаграммы направленности антенны;
- погрешности квантования видеосигналов по расстоянию и азимуту;
- искажения формы эхосигналов помехами;
- погрешности гирокомпаса и лага;
- неоптимальность алгоритма фильтрации засечек и ряд других.

Степень влияния этих обстоятельств на результаты обработки информации зависит от ситуации взаимного сближения, интенсивности качки и рыскания и ряда других причин.

Представление о возможной величине погрешностей выходных данных СПС дают требования ИМО к ним. Установленные стандарты точности получены путем тщательного учета различного рода погрешностей РЛС, ГК, лага, отвечающих техническим и эксплуатационным требованиям ИМО. Обоснованность этих стандартов подтверждена независимыми

исследованиями, выполненными национальными правительственными органами и специалистами различных фирм.

Таблица 3.2.- Контрольные ситуации движения судов

	Параметры ситуации	1	2	3	4
1.	Курс своего судна, град.	0	0	0	0
2.	Скорость своего судна, уз	10	10	5	25
3.	Дистанция до «цели», мили	8	1	8	8
4.	Пеленг «цели», град	0	0	45	45
5.	Относительный курс «цели», гр.	180	90	225	225
6.	Относит. скорость «цели», уз	20	10	20	20
7.	Расчетный курс «цели», град.	180	45	238	310
8.	Расчетная скорость «цели», уз.	10	14.1	17.5	17.5
9.	ДСРА, мили	0	1	0	0
10.	ТСРА, мин	26	6	24	24

Стандарты точности определены для четырех контрольных ситуаций, параметры которых приведены в табл. 3.2.

Через 1 минуту от начала автосопровождения погрешности вычислений относительного курса и скорости объекта, а также ДСРА с вероятностью 0.95 не должны превышать значений, указанных в табл. 3.3.

Таблица 3.3. – Предельные значения погрешностей расчетных параметров через 1 минуту с начала автосопровождения

Ситуация Сближения	Отн.курс, град.	Отн.скор., узлы	ДСРА, мили
1	11	2.8	1.3
2	7	0,6	-----
3	14	2.2	1.8
4	15	1,5	2.0

После 3 минут автосопровождения погрешности расчета с вероятностью 0.95 не должны превышать значений, указанных в табл. 3.4.

Таблица 3.4. - Предельные значения погрешностей расчетных параметров после 3 мин автосопровождения

Ситуация сближения	Отн.курс, град.	Отн.скор., узлы	ДСРА, мили	ТСРА, мин	Ист.курс, град.	Ист.скор., узлы
1	3.0	0.8	0.5	1.0	7,4	1.2
2	2.3	0,3	-----	-----	2.8	0,8
3	4.4	0.9	0.7	1.0	3,3	1.0
4	4.6	0,8	0.7	1.0	2,6	1.2

Учитывая величину приведенных значений, следует избегать чрезмерного доверия к РЛ информации и использовать любую возможность

для ее проверки. Оборудование судов аппаратурой АИС оказывает в этом вопросе большую помощь.

В дополнение отметим, что СПС может представить ошибочную картину маневрирования грузенного большого танкера с настройкой на корме [17]. Его радиолокационная засечка соответствует корме. Перемещение этой части судна при маневре курсом отличается от движения центра массы (рис. 3.8), что приводит к задержке выявления маневра.



Рис. 3.8. К пояснению задержки выявления маневра курсом большого грузеного танкера

4. ИНФОРМАЦИЯ О «ЦЕЛЯХ», ПРЕДОСТАВЛЯЕМАЯ ПО ЛИНИИ АИС

4.1. Общие сведения об АИС

Автоматическая идентификационная система - АИС (Automatic Identification System - AIS) является техническим средством судовождения, использующим взаимный обмен информацией между судами, между судном и берегом, а также между навигационным средством ограждения и судном (или береговой станцией), с целью:

- опознавания судов;
- решения задач по предупреждению столкновений;
- контроля соблюдения режима плавания и мониторинга судов в море;
- улучшения характеристик навигационного ограждения.

АИС работает на двух УКВ частотах: 161,975 МГц (AIS-1, канал 87) и 162,025 МГц (AIS-2, канал 88), выделенных Международным телекоммуникационным союзом. Станции АИС обмениваются данными с использованием самоорганизующейся с разделением времени и свободным доступом технологии SOTDMA (Self-Organized Time Division Multiple Access). Эта технология гарантирует надежный одновременный обмен данными многих судов. Дальность действия АИС в основном режиме работы зависит от высоты антенны и составляет порядка 20÷30 миль при нормальных условиях распространения радиоволн.

Бортовое оборудование АИС называется **«универсальным транспондером»**. Он должен удовлетворять требованиям ИМО и устанавливаться на судах, указанных в правиле 19 главы 5 СОЛАС74. Универсальный транспондер АИС состоит из основного блока (Transponder unit), модуля управления и отображения (Multiplexed Keyboard and Display unit), УКВ и GPS антенн. Блок управления и отображения имеет средства для подключения аппаратуры, выполняющей протокол 61162 МЭК. К нему могут подсоединяться: приемник GPS, гирокомпас, лаг, указатель угловой скорости, датчики крена и параметров качки, станция дальней связи Инмарсат-С, а также внешние системы отображения (дисплеи РЛС, САРП, ECDIS и другие).

Аппаратура АИС может работать *в режимах ближней и дальней радиосвязи* [18].

Режимы ближней связи. При ближней связи основным является **автономный, непрерывный» режим** работы транспондера. Он в этом случае передает на двух УКВ частотах блоки информации через короткие интервалы времени.

Представители компетентной власти в районе СУДС могут переключить бортовую аппаратуру АИС с «автономного» режима на один из следующих:

– **«назначенный» режим** (Assigned mode), при котором интервал передачи различных блоков информации устанавливается дистанционно с берега;

–*режим «по запросу»* (Polled mode), когда данные передаются бортовой АИС только в ответ на запрос с берега или от другого судна.

Транспондер АИС дополняет РЛС и другие судовые средства наблюдения. Он также применяется для обмена информацией с береговыми службами. *Основным назначением и главной функцией бортовой аппаратуры АИС является предупреждение столкновений судов.* При выполнении этой задачи принципы использования АИС и радиолокационного оборудования во многом аналогичны. Общими для этих средств являются графическое отображение положения других судов, экстраполяция ситуации на определенное время вперед с помощью векторов истинного и относительного движения, оценка угрозы столкновения по ДСРА и ТСРА.

У находящегося в эксплуатации судна бортовая аппаратура АИС должна быть в рабочем состоянии, за исключением случаев, когда она по соображениям безопасности выключается по приказу капитана с записью в судовом журнале. Как только угроза исчезает, транспондер должен быть включен. Порядок использования АИС судами, находящимися у причалов порта, определяется местными правилами.

Перед рейсом в бортовую аппаратуру АИС вводятся необходимые данные. На переходе эпизодически следует обновлять: осадку, сведения об опасном грузе, порт назначения и время прибытия в него, маршрут перехода, навигационный статус.

Когда требуется, в процессе рейса с помощью транспондера АИС передаются короткие сообщения, связанные с безопасностью.

Динамическая информация о собственном судне (позиция, курс, скорость и т.д.), посылаемая оборудованием АИС, должна периодически проверяться. Статическая информация о судне контролируется, как минимум, один раз в течение рейса, но не реже, чем раз в месяц.

При входе судна в район, где установлены частотные каналы АИС, отличающиеся от международных, следует убедиться, что произошло их автоматическое переключение по сигналам береговых станций. В районах, где таких станций нет, смена каналов производится вручную.

Режим дальней связи. Предусмотрена передача данных АИС через станцию спутниковой связи на большие расстояния. Этот режим применяют для мониторинга, контроля соблюдения правил плавания и для управления судами в эксклюзивных акваториях прибрежных государств.

4.2. Информация, предоставляемая по линии АИС

Процедуры обмена информацией по каналу АИС жестко регламентированы в Рекомендациях ИТУ-R М.1371-1. Для передачи и приема информации станциями АИС предусмотрено 22 вида сообщений (табл. 4.1) [10]. В последней колонке таблицы приведены сокращенные обозначения режимов работы бортовой аппаратуры АИС: А – автономный, Н – назначенный, З – запросный.

Таблица 4.1.- Виды сообщений АИС

№	Наименование	Описание	Режим работы
1	Сообщение о местоположении	Регулярное сообщение о местоположении мобильной станции класса А	А
2	Сообщение о местоположении	Назначенное сообщение о местоположении мобильной станции класса А (формат сообщения № 1)	Н
3	Сообщение о местоположении	Специальное сообщение о местоположении мобильной станции класса А (формат сообщения № 1)	А
4	Сообщение базовой станции	Местоположение (широта, долгота), UTC данные, вид навигационного датчика	Н
5	Статическая и рейсовая информация	Регулярное сообщение мобильной станции класса А	А/Н
6	Двоичное адресное сообщение	Сообщение, направляемое станции с указанным MMSI	А/Н/З
7	Подтверждение двоичного адресного сообщения	Подтверждает получение до 4 сообщений № 6	А/Н/З
8	Двоичное циркулярное сообщение	Сообщение, направляемое всем станциям в радиусе действия	А/Н/З
9	Сообщение о местоположении воздушного судна	Сообщение, передаваемое только мобильной станцией на воздушном судне, вовлеченном в поисково-спасательную операцию	А/Н
10	Запрос UTC и даты	72	Н/З
11	Ответ UTC и даты	Используется формат сообщения N 4	Н/З
12	Адресное сообщение, связанное с безопасностью	Собственный идентификатор, идентификатор вызываемой станции, данные (до 936 бит)	Н/З
13	Подтверждение сообщения, связанного с безопасностью	Используется формат сообщения N7	А/Н/З
14	Циркулярное сообщение, связанное с безопасностью	Собственный идентификатор, данные	А/Н/З
15	Запрос специального сообщения	Собственный идентификатор, идентификатор запрашиваемой станции, сдвиг от текущего слота	А/Н/З
16	Назначение режима работы	Собственный идентификатор, назначение специального режима передачи сообщений базовой станцией	Н
17	Циркулярная передача поправок ДГНСС	Передача базовыми станциями поправок ДГНСС	Н
18	Стандартное сообщение о местоположении	Регулярное сообщение мобильных станций класса В.	А/Н
19	Расширенное сообщение о местоположении	Регулярное сообщение мобильных станций класса В, включающее данные о судне и грузе	А/Н
20	Сообщение управления каналом передачи данных	Сообщение базовой станции для назначения слотов, используемых другими базовыми станциями	Н
21	Сообщение СНО	Сообщение, используемое для контроля местоположения и состояния СНО	А/Н/З
22	Сообщение управления каналом	Сообщение базовой станции для назначения региональных частот АИС	Н

Информация, посылаемая АИС-транспондером в автономном непрерывном режиме, включает:

- данные о судне;
- сведения о рейсе;
- короткие сообщения.

Информация о судне делится на статическую и динамическую.

Статическая информация содержит такие данные о судне:

- MMSI номер (Maritime Mobil Service Identity number).
- ИМО номер (если он имеется);
- Позывной сигнал и название;
- Длину и ширину;
- Тип судна;
- Расстояния от носа, кормы и кромки правого и левого бортов судна антенны аппаратуры позиционной системы.

Статические данные вводятся при установке оборудования АИС. Для указания типа судна используется код из двух цифр (табл. 4.2), характеризующий суда трех видов: *основные, специальные и прочие*.

Таблица 4.2.- Коды типов судов

Код	Тип судов	Код	Тип судов
Основные суда			
2#	На воздушной подушке (WIG - wind-in-ground)	7#	Грузовые
4#	Высокоскоростные (HSC)	8#	Танкеры
6#	Пассажирские	9#	Не вошедшие в приведенные типы
Специальные суда			
50	Лоцманские	54	С оборудованием для очистных операций и нефтесборщики
51	Поисково-спасательные	55	Служб надзора
52	Буксиры	58	Медицинский транспорт
53	Портовой службы	59	Суда в соответствии с Резолюцией N18 (Mob-83)
Прочие суда			
30	Рыболовецкое	34	Занятое водолазными работами
31	Буксирующее	35	Занятое военными операциями
32	Буксирующее, длина буксира превышает 200 м или ширина состава - 25 м	36	Парусное
33	Занятое дноуглубительными или подводными операциями		

В коде «основных» судов первый символ указывает на тип судна. Вторая цифра # является кодом груза, для перевозки которого предназначено судно:

0 - без уточнения вида груза;

1, 2, 3, 4 – соответственно опасные грузы, вредные вещества или поллютанты категорий опасности «А», «В», «С», «D».

Например, код грузового судна, не перевозящего опасных грузов, 70.

Динамическая информация – это сведения о положении, элементах движения, навигационном статусе судна.

Навигационный статус характеризует состояние судна как объекта маневрирования (табл. 4.3).

Таблица 4.3.- Коды навигационных статусов судов

Код	Статус	Код	Статус
0	На ходу под двигателем	5	У причала
1	На якоре	6	На мели
2	Не управляется	7	Занято ловом рыбы
3	Ограничено в возможности маневра	8	На ходу под парусами
4	Ограничено осадкой		

Информация о *навигационном статусе* вводится в память системы вручную. Данные об элементах движения судна поступает в АИС автоматически от соответствующих датчиков (внешнего приемника GPS, гирокомпаса, лага, указателя угловой скорости, датчиков крена и параметров качки). Координаты места судна от внешнего приемника GPS принимаются в геодезической системе WGS84 с разрешением, не хуже одной десятитысячной минуты дуги.

Динамическая информация включает:

- Координаты судна с указанием их точности (высокая или низкая);
- Время UTC, которому соответствуют значения передаваемых данных;
- Курс относительно грунта (путевой угол);
- Скорость относительно грунта (путевая скорость);
- Истинный курс (направление диаметральной плоскости судна);
- Навигационное состояние судна;
- Скорость поворота (где возможно);
- Угол крена (если возможно);
- Угол килевой и бортовой качки (если возможно).

Информация, связанная с рейсом, содержит значение осадки судна, сведения о наличии опасного груза и его тип. По усмотрению капитана в эту информацию может включаться порт назначения судна, ожидаемое время прибытия в него и план перехода (координаты путевых точек).

Интервалы передачи информации. В основном режиме работы бортовая аппаратура АИС передает данные с разной частотой.

Статические сведения о судне посылаются каждые 6 минут и по требованию.

Интервал передачи динамической информации зависит от скорости судна, сохранения или изменения им курса (табл. 4.4). Такая адаптация к динамике судна позволяет в максимальной степени отследить перемещение и все маневры судна и в то же время не перегружать эфир излишней информацией при медленном перемещении судна.

Связанные с рейсом сведения посылаются с периодом 6 минут, при изменении этих данных и по запросу.

Статическая и рейсовая информация входят в сообщение вида №5 «Статические данные о судне, информация о рейсе» (см. табл. 4.1). Динамические данные передаются в «Сообщении о местоположении» №1.

Таблица 4.4. - Интервал передачи данных, характеризующих движение судна.

Состояние судна	Интервал между сообщениями
Судно на якоре	3 минуты
Скорость 0-14 узлов	12 секунд
Скорость 0-14 узлов и меняющийся курс	4 секунды
Скорость 14-23 узла	6 секунд
Скорость 14-23 узла и меняющийся курс	2 секунды
Скорость более 23 узлов	3 секунды
Скорость более 23 узлов и меняющийся курс	2 секунды

Короткие сообщения. Кроме регулярно передаваемой статической, рейсовой и динамической информации, в бортовой аппаратуре АИС предусмотрена возможность посылки, при возникновении необходимости, эпизодических (нерегулярных) сообщений:

- текстовых, связанных с безопасностью мореплавания;
- бинарных, включающих дополнительные данные.

Передачи этих сообщений можно осуществлять в широкоэмиттерном режиме (т.е. всем станциям) или в адрес конкретной станции. Последние требуют от получателя подтверждения их принятия.

Короткие сообщения могут использоваться с целью:

- извещения других судов и береговых станций об определенных событиях;
- передачи береговыми станциями на суда информации об опасностях и рекомендаций при оказании навигационной помощи;
- предоставления информации в режиме дальней связи;
- усовершенствования лоцманского обеспечения и портового управления;
- уменьшения объема связи по УКВ.

Следует отметить, что короткие сообщения не предназначены для дублирования информации таких служб как GMDSS, SAR, прогнозов погоды, и не освобождают от необходимости соблюдения МППСС-72.

4.3. Содержание и формат коротких сообщений

Сообщения по безопасности представляют собой короткие тексты в свободном формате, с кодировкой ASCII и имеют длину до 161 символа. [18]. Перед передачей этих сообщений оператор набирает их текст на пульте управления и отображения информации.

Текстовые сообщений, связанные с безопасностью мореплавания, передаются в случаях, предусмотренных Правил 31, главы 5 СОЛАС74.

Бинарные (двоичные) сообщения служат для передачи дополнительной информации. Главное отличие этих сообщений состоит в том, что их *перечень и формат строго стандартизованы*, а подготовка автоматизирована. На международной основе определено и зарезервировано 64 типа бинарных сообщений (International Function Messages - IFM).

Бинарные сообщения могут быть:

- общего назначения;
- касающиеся деятельности СУДС;
- связанные с работой СНО;
- относящиеся к поисково-спасательным операциям.

Первый вид сообщений используется для специальных приложений, одобренных ИМО. В циркуляре 236 Комитета по безопасности мореплавания (MSC) даны форматы двоичных сообщений для передачи [10]:

- данных о гидрометеорологических условиях в какой-либо географической точке;
- подробных сведений об опасных грузах;
- информации о прохождении фарватера;
- сведений о приливах;
- расширенной статической и рейсовой информации, а также количестве человек на борту;
- данных по псевдо-АИС «целям».

Важным для предупреждений столкновений судов является сообщение Центра СУДС о сопровождаемых береговыми РЛС судах, не оборудованных АИС. Оно содержит по нескольким (от 1 до 7) судам следующие данные:

- идентификатор судна (MMSI, IMO номер, или позывной сигнал);
- координаты (широта и долгота);
- вектор путевой скорости (курс и скорость относительно грунта);
- время, прошедшее от момента определения координат судна.

Другой тип сообщений СУДС включает информацию о путевых точках предлагаемого судну маршрута движения. Такое сообщение может содержать до 14 путевых точек. Аналогично в Центр СУДС судно может передать маршрут, которого оно намерено придерживаться.

Таблица 4.5. – Формат сообщений по безопасности

Параметр	Кол-во бит	Описание
ID сообщения	6	ID для сообщения №б
Резерв	2	Не используется
ID отправителя	30	MMSI номер
Резерв	2	Не используется
ID получателя	30	MMSI Резерв
Резерв	2	Не используется
Данные	936	117 байт максимум
Буфер	184	23 байта максимум
Общее кол-во бит	1192	

Бинарные сообщения относятся (см. табл. 4.1) к видам №6 (адресные бинарные сообщения), №7 (бинарные подтверждающие сообщения) и №8 (широковещательные бинарные сообщения по радио).

Формат сообщения 6 представлен в табл. 4.5, в которой ID обозначает идентификатор.

Секция «Данные» табл. 4.5 имеет формат, характеризуемый в табл. 4.6. Текст данных состоит из двух частей: *момент передачи* и *содержание сообщения*, которые представляются так

“Data = \$ срок коммуникации : содержимое сообщения \$” .

При передаче данных указывается ключевое слово, выбираемое из приведенного ниже перечня:

- Inform (Информирование): отправитель посылает те или иные сведения получателю.
- Request (Запрос): отправитель просит получателя предоставить определенные данные.
- Advice (Совет): отправитель передает некоторые советы или указания о действиях получателю.
- Error (Ошибка): принятое сообщение имеет погрешности в формате, синтаксисе, параметре или в протоколе.
- Sorry (Извинение): отправитель не может предоставить информацию получателю и оканчивает процесс связи.
- Wait (Ожидайте): отправитель передаст данные получателю позже.
- Reject (Отказ): отправитель отказывается принять совет или предпринять действие согласно просьбе или указаниям получателя и прекращает связь.
- Assent (Согласие): отправитель соглашается принять совет или выполнить действия согласно указанию или просьбе получателя и заканчивает процесс связи.
- Begin (Начало): отправитель инициирует новый процесс связи с получателем.
- End (Конец): отправитель будет завершать процесс связи с получателем.

Таблица 4.6. – Формат секции «Данные» сообщения

Параметр	Кол-во бит	Описание
\$	8	Символ начала сообщения
Резерв	2	Не используется
Срок сообщения	80	10 байт максимум
Резерв	2	Не используется
:	8	Символ разделения
Резерв	2	Не используется
Содержание сообщения	800	100 байт максимум
Резерв	2	Не используется
\$	8	Символ конца сообщения
Общее кол-во бит	912	

Содержимое сообщения, касающегося предупреждения столкновений, состоит из двух частей:

- название параметра;
- значение параметра (помещается в скобках).

Допустимо в сообщении включать и несколько параметров, поэтому его можно представить в виде:

параметр (значение), параметр (значение), ... , параметр (значение).

Основные параметры, используемые в коммуникации по предупреждению столкновений, приведены в табл. 4.7. Пример содержания одного из сообщений, когда судно информирует, что изменит курс влево на 40^0 через 10 минут, выглядит так:

\$ Inform : TURNPORT (40) ACTIONTIME (10) \$

Таблица 4.7. - Параметры сообщений по предупреждению столкновений

Параметр	Пояснение	Значение
<i>Статическая информация</i>		
SHIPTYPE	Тип судна	Из перечня, установленного для АИС
STROKE	Выбег при активном торможении	Цифровое: в метрах
FORDIST	Выдвиг на циркуляции	Цифровое: в метрах
TURNRADII	Тактический радиус циркуляции	Цифровое: в метрах
TURN90TIME	Время поворота на 90^0	Цифровое: в секундах
<i>Динамическая информация</i>		
HEADING	Курс	Цифровое: $0\sim 359.9^0$
SPEED	Скорость	Цифровое: в узл.
POSITION	Положение	Долгота: $\pm 180^0$, Широта: $\pm 90^0$
ACTION	Действие	Из перечня: TURNPORT, TURNSTDB, DECSPEED, INCSPEED, STOP, GIVEWAY, STANDON, RETURN
TURNPOINT	Точка поворота	Долгота: $\pm 180^0$, Широта: $\pm 90^0$
<i>Информация о действии</i>		
TURNPORT	Поворот влево	Цифровое: $0\sim 180^0$
TURNSTDB	Поворот вправо	Цифровое: $0\sim 180^0$
DECSPEED	Снижение скорости	Цифровое: в узл
INCSPEED	Увеличение скорости	Цифровое: в узл
STOP	СТОП	Нуль
<i>Информация о решении</i>		
GIVEWAY	Уступаю дорогу	Нуль
STANDON	Сохраняю прежние <i>K</i> и <i>V</i>	Нуль
ACTIONTIME	Время действия	Цифровое: в минутах
RETURNTIME	Время возвращения	Цифровое: в минутах
JOINUNION	Присоединение к числу проводимых судов	Нуль
QUITUNION	Выход из числа проводимых судов	Нуль
VTSCONTROL	СУДС управление	Нуль

4.4. Достоинства и ограничения АИС

Достоинства АИС. Для решения задач предупреждения столкновений судов аппаратура АИС имеет ряд преимуществ перед РЛС и САРП. Отметим из них следующие.

Применение АИС сопровождается *увеличением дистанции* обнаружения судов, которая не зависит от размеров, ракурса «целей», погодных условий и других факторов. Дальность передачи сообщений по УКВ каналам АИС зависит от высоты антенны и составляет при нормальных условиях распространения радиоволн порядка 20÷30 миль. При использовании РЛС дистанция обнаружения является функцией эффективной отражающей поверхности «цели» (тоннажа, типа судна и его ракурса). При отсутствии помех распространению и приему радиоволн среднетоннажные и крупные суда обнаруживаются с помощью РЛС на расстояниях 10÷18 миль, а малые – 3÷7 миль. Возможность обнаружения с помощью АИС малых «целей» на таких же дистанциях, как и больших, особое значение имеет для крупнотоннажных судов, на которых действия по расхождению следует предпринимать раньше из-за их большой инерционности.

Благодаря оборудованию судов высокоточными системами определения кинематических параметров и возможности передачи этих данных всем пользователям *повышается точность знания положения и элементов движения «целей»*. Погрешности РЛС и радиолокационной прокладки, как правило, возрастают с увеличением расстояния до СЦ. Положение радиолокационной засечки судна нестабильно и обычно не совпадает с его геометрическим центром. Погрешности информации АИС остаются неизменными в пределах дальности действия. Они существенно меньше погрешностей соответствующих радиолокационных данных.

В АИС *нет понятия «минимальная дальность»* («мертвая зона»), свойственное радару, благодаря чему возможно получение информации от рядом расположенных судов, например, отшвартованных лагом.

АИС *обеспечивает прием информации от неманеврирующих и маневрирующих «целей» в реальном масштабе времени*, независимо от их скорости. В САРП кинематические параметры объектов находятся путем фильтрации их засечек на определенном интервале времени. Поэтому после захвата «цели» на сопровождение или после ее маневрирования нахождение ЭДЦ затрачивается порядка двух-трех минут. Это время зависит от скорости СЦ. Для тихоходных «целей» оно больше, чем для быстроходных. ЭДЦ маневрирующих судов САРП определяет с очень низкой точностью. Ввиду инерционности фильтра, данные САРП об элементах движения СЦ запаздывают порядка на 1-2 минуты.

Применение АИС *уменьшает время обнаружения маневра «цели»*. Он выявляется транспондером по передаваемым ей значениям курса и угловой скорости. В САРП маневр СЦ обнаруживается путем статистического определения факта отклонения ее засечек от гипотезы прямолинейного равномерного движения. По данным исследований, проведенных специалистами, среднее время на выявление маневра у САРП составляет 1 мин 25с, а у АИС – не более 20 с.

При использовании АИС *на дистанцию обнаружения и точность определения элементов движения «целей» не влияют помехи от моря*,

осадков, наличие теневых секторов, ложные эхосигналы и работа других РЛС, как это имеет место при использовании радиолокационного оборудования. В результате обеспечивается возможность своевременного обнаружения малых судов и наблюдения за ними в условиях сильного волнения моря и интенсивных осадков.

В районах с изрезанной береговой линией *АИС дает возможность получать данные о судах в обусловленных береговым рельефом «теневых» секторах РЛС*. Этот эффект объясняется тем, что излученные ненаправленной антенной АИС метровые радиоволны за счет огибания береговых препятствий и отражений от них могут распространяться не только в пределах прямой видимости, как радиосигналы сантиметрового диапазона РЛС.

Аппаратура АИС *позволяет сопровождать «цели», идущие вблизи берега и в узком канале*. Она исключает возможность «обмена объектов» при малом расстоянии между СЦ. На качество сопровождения «целей» средствами радиолокационной прокладки влияет разрешающая способность РЛС и величина стробов для селекции отметок СЦ, что может вызвать невозможность получения координат судна, находящегося около берега, и «переброс» маркеров СЦ («обмен объектов» - по англ. «swapping»), когда расстояние между ними мало.

АИС обеспечивает прием данных о судах на акваториях портов и в стесненных водах, где очень трудно, а иногда и невозможно, использовать САРП. Радиолокационное оборудование не позволяет вести наблюдение за изменением положения судов у причала. Как следствие, затруднено своевременное обнаружение начала движения паромов местного сообщения по акватории порта или в узкости, что обеспечивается АИС.

В САРП, получающих информацию от РЛС, ГК и относительного лага, при наличии ветрового дрейфа и течения в рассчитываемых элементах истинного движения «целей» появляются существенные погрешности. В АИС исходными данными являются курс и скорость «целей» относительно грунта. При известной путевой скорости собственного судна, *данные АИС позволяют рассчитать курс и скорость «цели» по отношению к СО с минимальными погрешностями*. В результате повышается точность определения ДСРА и ТСРА.

Предупреждению столкновений судов способствует взаимный обмен по линии АИС полезной при расхождении информацией:

- название, тип судна, его позывной, ММСИ-номер;
- размеры судна и его осадка;
- навигационный статус;
- наличие опасного груза.

Зная название судна, его позывной, ММСИ-номер, судоводитель с помощью УКВ радиотелефона или GMDSS-аппаратуры может связаться с любым судном для координации действий, а также использовать передачу по линии АИС коротких сообщений. С помощью радиолокационной системы указанные сведения получить невозможно.

Кроме вышеперечисленного, следует также отметить *способность транспондера АИС передавать маршрут судна*. Наличие плана, которого придерживается «цель», дает ясную картину об ее будущих действиях.

К ограничениям АИС, подлежащих учету при решении задач предупреждения столкновений, относятся:

- наличие необорудованных аппаратурой АИС судов (рыбопромысловых, местного плавания, маломерных, прогулочных и других);
- нахождение универсального транспондера в выключенном по распоряжению капитана состоянии в районах, где использование АИС представляет угрозу;
- возможное уменьшение реальной дальности действия до 10 – 12 миль в районах с очень высокой интенсивностью судоходства;
- кратковременные нарушения работы, вызванные сильными радиопомехами, например, во время грозы;
- зависимость достоверности данных транспондера АИС от качества работы его датчиков информации и от правильности ввода в него данных (например, навигационного статуса или маршрута движения).

5. АНАЛИЗ СИТУАЦИЙ СБЛИЖЕНИЯ СУДОВ

5.1. Традиционная методика анализа обстановки

Характеристика задачи. Процесс принятия решений по управлению судном для предотвращения столкновений является нормальной производственной операцией, необходимость в которой возникает в результате появления случайного события – опасного сближения двух или нескольких судов, выполняющих свои целевые функции. Расхождение судов, как и обычные навигационные операции, должно выполняться безопасно и рационально. Выбор на мостике судна мер по предупреждению столкновений основывается на тщательном анализе сложившейся обстановки.

При оценке ситуации должна учитываться неполная предсказуемость процессов расхождения. Она обусловлена:

- погрешностями контроля по измерениям перемещения «целей»;
- вариацией внешних условий;
- нечеткостью рекомендаций МППСС-72;
- наличием ограничений и признаков, не являющихся строго детерминированными;
- невозможностью точного предсказания намерений других судов и существующей вероятностью их ошибочных действий.

По этим причинам получаемые значения характеризующих ситуацию параметров не будут точными. Прогноз развития ситуации также будет содержать погрешности, увеличивающиеся с ростом времени прогноза. Поэтому выбор мер по предупреждению столкновений всегда включает оценку и коррекцию погрешностей.

Учет неопределенности процессов расхождения судов основывается на статистическом материале, полученном в течение длительного времени управления судами в реальных условиях плавания. Суждение о том, какими способами в практической деятельности обеспечивать безопасность плавания в условиях неполной предсказуемости процессов расхождения, выносят обычно эксперты. Этими накопленными специалистами в течение многих лет знаниями и своим практическим опытом работы, полученным при решении задач расхождения в различных условиях плавания, пользуются судоводители при оценке обстановки.

Анализ обстановки и его содержание. В процессе мореплавания сложилась определенная методика оценки ситуаций, образуемых судами и навигационными препятствиями. Она включает анализ обстоятельств, подлежащих учету при установлении безопасной скорости, и факторов, влияющих на выбор безопасного маневра расхождения. Согласно правилу 6 МППСС-72 при назначении скорости движения следует учитывать

- состояние видимости;
- плотность движения и скопление судов;

- маневренные возможности собственного судна;
- наличие фона освещения ночью;
- состояние моря, ветер, течение, близость навигационных опасностей;
- соотношение между осадкой и имеющимися глубинами;
- технические характеристики и ограничения РЛС;
- ограничения используемой шкалы дальности радиолокатора;
- влияние на работу РЛС помех от моря, метеоусловий и других причин;
- возможность не обнаружения малых судов, льда, и других объектов;
- количество, местоположение и перемещение судов, обнаруженных РЛС.

Кроме этого, при оценке обстановки должен учитываться характер сближения судов, их навигационный статус и другие факторы, требуемые для обеспечения высокого уровня понимания ситуаций расхождения.

При использовании бортовой СПС₁ обстановка оценивается по первичной (необработанные эхосигналы «целей»), вторичной (векторы и цифровые данные) радиолокационной информации и результатам других видов наблюдения. При таком анализе оператор руководствуется положениями МППСС-72, местными правилами, рекомендациями хорошей морской практики и своим опытом.

При анализе первичной РЛ-информации оцениваются навигационные ограничения и выбираются «цели», которые следует взять на автосопровождение [3]. Перед таким выбором ориентировочно параметры движения «цели» находятся по наблюдениям ее пеленга и дистанции в течение определенного времени после обнаружения. На автосопровождение берутся «цели», которые при определенных обстоятельствах могут представить угрозу либо ограничить маневр судна оператора. Чтобы своевременно начать автосопровождение «целей», в СПС используются охраняемые зоны. При вхождении объекта в эти области включается тревожная сигнализация. Важно помнить, что у некоторых СПС₁, если отметка объекта появится внутри охраняемой зоны, а не на внешней ее границе, сигнализации не будет. По результатам визуального наблюдения, если возможно, определяется тип и статус «цели».

Анализ вторичной РЛ-информации базируется на результатах обработки видеосигналов РЛС. Эти результаты представляются на экране СПС в графическом (вектора у «целей», линии истинного и относительного движения и др.) и в цифровом виде. Цифровые значения параметров P , D , K , V , ДСРА и ТСРА можно вывести по каждой сопровождаемой «цели».

По полученным данным определяются курсовые углы, ракурсы «целей», по носу или по корме они пересекут курс СО, оценивается риск столкновения, производится классификация СЦ по степени опасности. Чтобы система могла предупреждать о появлении представляющих угрозу судов, предусмотрена возможность ввода границ d^S , t^S безопасных значений дистанции и времени кратчайшего сближения. Если в процессе сближения значения ДСРА и ТСРА станут меньше этих границ, появится тревожный сигнал.

При оценке ситуаций используется и способность СПС_I прогнозировать относительное и истинное движение сопровождаемых судов. Если система находится в режиме отображения линий относительного движения (ЛОД), то они высвечиваются на экране у всех сопровождаемых СЦ за установленное время. Варьируя время прогноза, оператор изменяет длину ЛОДов и с помощью НКД определяет ДСРА. По времени прогноза, соответствующему вектору движения до точки кратчайшего сближения, находится ТСРА.

Когда СПС_I работает в режиме отображения линий истинного движения (ЛИД), то, варьируя время прогноза движения, можно судить о степени риска столкновения [23, 32]. Если при изменении этого времени концы прогнозируемых отрезков пути СО и «цели» одновременно попадают в малую область, то эти суда взаимно опасны. При изменении длины ЛИД можно установить, по носу или по корме СО пересечет курс «цели».

При оценке опасности столкновения анализируются также цифровые данные (пеленг, дистанция, курс, скорость, ДСРА, ТСРА), предоставляемые СПС по любой сопровождаемой «цели». Помогают своевременно принимать меры предупреждения об обнаружении новой «цели», о появлении угрозы столкновения, о «потере» сопровождаемой «цели».

В результате анализа выделяются суда, требующие особого внимания. При наличии представляющих угрозу «целей», из них выбирается наиболее опасная (*главная «цель»* - ГЦ). У нее среди опасных «целей» время кратчайшего сближения наименьшее. Главная «цель» в первую очередь определяет меры по предупреждению столкновения.

Для обнаружения маневра «цели» систематически контролируется ее относительное (истинное) перемещение и цифровые параметры. Следует учитывать, что изменение направления ЛОД не всегда свидетельствует о маневре «цели» курсом. Эта линия меняет направление и при изменении «целью» скорости. Для выявления маневра «цели» используется также способность СПС воспроизводства на экране, по крайней мере, 4-х предшествующих позиций любой «цели» за время, не менее 8 мин. Такие точки показываются как в режиме ЛОД, так и ЛИД. Некоторые системы способны сами обнаруживать маневры сопровождаемых объектов и предупреждать об этом факте.

Анализ информации АИС. В СПС_{II} транспондер АИС позволяет получить полезную информацию о «целях», оборудованных бортовой аппаратурой этой системы. Характеристика сведений, передаваемых по линии АИС, приведена в главе 4. Они позволяют улучшить знание ситуации, обеспечить быструю ее оценку, увеличить время на принятие решения по предупреждению столкновения. Совместное использование АИС и РЛС дает возможность осуществлять взаимный контроль правильности предоставляемой этими системами информации, что важно для обеспечения надежного и безопасного расхождения с судами.

Анализ навигационных условий при расхождении состоит в оценке района плавания в аспекте выбора мер по предупреждению столкновений. Он включает рассмотрение навигационной информации, приведенной на

навигационной карте и в навигационных пособиях. Способность СПС_П показывать картографическую информацию имеет особое значение для улучшения понимания сложившейся обстановки в стесненных водах. Следует отметить, что системы отображения электронных карт, радиолокационная аппаратура и АИС выгодно дополняют друг друга. Подключение РЛС и АИС к ECDIS придает последней системе полезные свойства.

При анализе ситуаций в стесненных водах, где необходимо учитывать взаимное расположение и элементы движения судов, их тип, размеры и маневренные характеристики, информацию о надводных и подводных препятствиях, интегрированное представление данных радиолокационного оборудования, АИС и навигационной карты имеет преимущество перед их отдельным отображением.

5.2. Требования к математической модели ситуаций

При рассмотрении моделирования ситуаций и выбора маневров расхождения ниже считается, что **СО** является судном с *механическим двигателем*.

Термин «ситуация» относится к широко используемому, что затрудняет его трактовку, учитывающую нюансы применения. Поэтому этот термин определяется с привязкой к конкретной области знаний. В задачах расхождения судов под «*ситуацией*» обычно понимается совокупность обстоятельств, оказывающих влияние на характер мер по предупреждению столкновений. *Ситуация* может рассматриваться и как область состояний судна оператора и его внешней среды, имеющая определенные границы.

Для нахождения решений задач расхождения судов большое значение имеет построение формальной модели ситуаций. Она должна отражать реальную обстановку в аспекте, ориентированном на достижение целей по предупреждению столкновений.

Требуется, чтобы формальная модель:

- отражала существенные стороны сложившейся ситуации и характер ее развития с необходимой полнотой и точностью (адекватность модели);
- была простой по структуре и имела небольшое количество параметров (экономность модели);
- обеспечивала возможность практического использования (реализуемость модели);
- служила существенным вспомогательным средством при выборе решений (целенаправленность модели).

Математическая модель должна позволять **прогнозировать ситуацию на определенное время вперед**, что требуется для принятия обоснованных мер по предупреждению столкновений.

К важным свойствам модели относится и **возможность ее применения в СПС**. Модель является реализуемой, когда позволяет получить необходимые результаты в реальном времени. Иногда в быстротекущих

процессах управления высокоточные численные методы анализа и прогноза ситуаций не могут быть применены из-за недостаточной мощности компьютеров. Поэтому используются загрубленные описания процессов. Так как компьютерная техника непрерывно совершенствуется, то со временем формальные модели улучшаются.

Особое внимание при решении задач уделяется *адекватности* применяемых моделей. Модель адекватна оригиналу, когда при ее интерпретации возникает образ, в высокой степени сходный с оригиналом. При оценке такого сходства всегда учитываются цели задач, для которых строится модель. В формализованном описании ситуации должны быть сконцентрированы наиболее важные факторы реальной обстановки. Их необходимо отразить с наибольшей полнотой и точностью. Несущественные элементы в модели должны отсутствовать, либо быть отраженными в небольшой степени, чтобы не затруднять анализ ситуации. Таким образом, модель должна передать существенное для рассматриваемой задачи и заменить действительность с такой степенью абстракции, какая всего полезней для достижения поставленной цели.

Ситуация расхождения складывается из массы элементов. Для ее восприятия в требуемом аспекте *должны выделяться только элементы, влияющие на решения по управлению*. Эти элементы определены на основе многолетней практики судовождения. Их совокупность, представленная в кодированной форме, составляет *опорную информацию* описания ситуации. Основные зависимости между опорными элементами, важные для решаемой задачи, называют *опорными соотношениями*. Они определяются условиями сближения судов, навигационными и гидрометеорологическими ограничениями, положениями МППСС-72 и других регламентирующих документов. В совокупности опорные информация и соотношения образуют основу модели ситуаций.

Средством представления опорной информации математической модели является совокупность:

- цифровых величин, количественно отражающих ситуацию;
- словесных признаков (лингвистических переменных), характеризующих ситуацию с качественной стороны.

Предупреждение столкновений относится к задачам, в которых *важно не только получить количественно пригодную для использования модель, но и отразить факторы, которым нельзя придать цифровую форму* или нерационально ее использовать.

Одно из главных назначений модели заключается в *уменьшении избыточности*, обусловленной изобилием в реальной обстановке самых различных элементов. Из моделей, адекватных ситуации, *предпочтение отдается модели с простой структурой и небольшим числом параметров*. Как правило, простая модель, по сравнению со сложной, легче реализуется, требует меньше компьютерной памяти, упрощает анализ ситуаций и поиск оптимальных решений при управлении.

Не берут и излишнее число значений величин, характеризующих ситуацию. Цифровые параметры представляются с учетом их точности. В лингвистических переменных выделяются только значения, изменение которых влияет на выбор мер по обеспечению безопасности.

Неопределенность процесса расхождения, невозможность описания связей между отдельными элементами ситуации строго аналитически, нечеткость МППСС-72 определяют необходимость использования статистических оценок и процедур [1]. Обычно информация, отягченная случайными погрешностями, либо по другим причинам являющаяся неопределенной, называется *стохастической* или *нечеткой*. По существу, получение статистических оценок стохастического процесса, а также зависимостей между ними представляет собой сжатие (агрегирование) огромного количества возможных вариантов его реализаций.

Статистические оценки находятся разными способами. Одним из них является *применение методов математической статистики к выборкам реализаций стохастических величин или процессов*. В большинстве случаев эти выборки получаются путем наблюдений в реальных условиях. С помощью методов математической статистики оценивается вид распределения случайных величин, их характеристики, такие как математическое ожидание и дисперсия, регрессии, отражающие зависимость стохастических величин от времени или от других параметров и т.д.

Иногда при наличии адекватной модели процесса и невозможности получить данные о нем путем наблюдений *его статистические характеристики находятся по моделируемым реализациям*.

Когда с помощью методов математической статистики (закона больших чисел) получить характеристики стохастических величин и процессов невозможно, применяются другие пути агрегирования информации в ее оценки. Одним из них является *определение статистических оценок на основе опыта* (экспертные оценки).

Особенностью задачи расхождения судов является необходимость привлечения для ее решения экспертных оценок, полученных в результате многолетнего опыта мореплавания

Из других особенностей следует отметить, что из-за ряда обстоятельств иногда рациональным, а нередко и единственно возможным, путем достижения цели управления является *ориентация на качественное состояние системы и ее внешней среды*. Это напрямую касается расхождения судов, так как регламентирующие этот процесс положения МППСС-72 нечеткие. В этом случае количественные значения параметров (или векторов параметров), характеризующие систему, с некоторой разумной точки зрения объединяются в классы (группы, множества), соответствующие качественным состояниям ее элементов. Этим множествам присваиваются названия, отражающие особенности состояний. Такие словесные значения называются *термами*, а название объекта или параметра, к которому они относятся, – *лингвистической* или *вербальной переменной*.

Например, рассматривая дистанцию кратчайшего сближения двух судов, интерес иногда представляет только то, опасна она или нет. В этом случае *дистанцию* можно рассматривать как лингвистическую переменную с двумя терминами: *опасная* и *безопасная*. Выбор числа термов лингвистической переменной определяется особенностями рассматриваемой задачи. Ниже, если такая переменная – *название* числового параметра x (или вектора числовых параметров \mathbf{X}), то сокращенно она будет обозначаться x^* (\mathbf{X}^*). Каждому терму соответствует определенное множество значений вещественного параметра x или вектора \mathbf{X} .

Переход от данных в области действительных чисел к лингвистическим переменным состоит в выделении в значениях первых определенных классов (множеств). Это процесс укрупнения данных. В разных задачах он называется по-разному: *объединением, сжатием, группировкой, пакетированием, классификацией* данных. Обратная операция носит названия *декодирование классов, разъединение, разгруппировка*.

Если у набора входных и выходных данных системы выделить термы, то *с помощью математической логики (четкой или нечеткой) можно получить описание системы, в котором формализуются только отношения между термами (множествами)*. Такое логическое описание системы благодаря его простоте, часто, впрочем, вполне достаточной, имеет большое значение. В этом случае задачу можно решить в соответствии с неколичественными приемами, используемыми опытными специалистами, если описать эти приемы с помощью логических операций.

Формальная модель, в которой используется семантическая (смысловая, качественная) информация, называется *логико-лингвистической*. Она оперирует укрупненными данными (массивами, записями, множествами) и принадлежит к *агрегированным моделям*. Агрегированные модели обычно учитывают основные, влияющие на процесс факторы. Получаемые по такой модели результаты являются множествами. Это дает возможность, при необходимости, получив результат, уточнить его с учетом дополнительных факторов.

Логико-лингвистические модели применяются, например, при формировании компьютером рекомендаций по управлению, когда автоматический учет массы факторов, влияющих на систему управления, невозможен. Поэтому получается приближенный результат, уточняемый затем оператором.

По логико-лингвистической модели можно, например, формировать предположения о назначенных «целями» границах безопасных ДСРА и ТСРА. Основные факторы, которые влияют на этот выбор, будут учтены. Найти ответ, какие из менее значимых причин были взяты во внимание при назначении «целями» границ безопасности, практически невозможно. Поэтому результат прогноза получают в виде термина (множества значений) по логико-лингвистической модели с учетом только основных факторов. К

этому множеству с большой вероятностью принадлежат заданные СЦ границы безопасности.

Предложенные виды математических моделей образуемых судами ситуаций охарактеризованы в параграфе 2.6.

5.3. Описание навигационных ограничений

Для задач судовождения общепризнанной моделью навигационных условий служит навигационная карта, как обладающая высокой информативностью, пространственным подобием относительно оригинала, метричностью, обзорностью и наглядностью. При организации компьютерной поддержки решений особенно удобным является использование этих карт в электронном виде.

Если рассматривать задачу предупреждения столкновений изолированно, то видна избыточность представленной на навигационной карте информации. Поэтому выбирают более простую модель навигационных ограничений [37]. Главное назначение такой модели состоит в определении акватории, где может произойти столкновение и за границы которой не должно выходить СО при решении задачи расхождения с другими судами.

Эту акваторию можно выделить с помощью опасной изобаты, ограничивающей область с приемлемыми для СО глубинами [35]. Учет конфигурации акватории по такой изобате связан с определенными трудностями. Кроме того, эта модель обладает определенной избыточностью, состоящей в следующем.

Так как СО придерживается своего плана движения, то область его возможных маневров лежит около намеченной линии пути. С одной стороны это определяется тем, что принятие решения предшествует его реализации. С другой стороны, вряд ли оправданным с точки зрения целей рейса является возвращение СО по линии пути назад. Поэтому в большинстве случаев для учета навигационных условий достаточна модель, отражающая безопасное пространство, за границы которого с высокой степенью вероятности не выйдет СО, предпринимая необходимые для предупреждения столкновений действия в будущем. Такое пространство сокращенно обозначим ОДМ (*область движения и маневров*).

Рационально брать ОДМ в виде полосы с границами, параллельными линии пути судна оператора, и с началом в его текущем месте, например, как показано на рис. 5.1. Боковые границы этой полосы должны отсекают акватории опасных для судна глубин и запретные для движения районы.

ОДМ задается расстояниями ее левой и правой границ от линии пути судна оператора (ξ_P , ξ_S), и углом θ в пределах $60^\circ \div 90^\circ$. Эта область выделяется и в открытом море, где нет необходимости анализировать опасность столкновения во всей зоне обзора, так как значительное уклонение

от намеченной линии пути не является оправданным. Ширина ОДМ ($\xi_Z = \xi_P + \xi_S$) в общем случае отражает стесненность района плавания.

Заметим, что ОДМ напоминает выделяемую в ECDIS у отметки судна область риска, о попадании в которую реальных объектов (берега, подводных препятствий, судов и т.д.) эта система сигнализирует. В отличие от образуемой в ECDIS области **ОДМ служит для выявления в ней виртуальных объектов – зон возможного чрезмерного сближения с «целями»**. Эти зоны лежат на линии пути «целей». Их появление в ОДМ свидетельствует о тех или иных ограничениях движения или маневров судна оператора на участках его будущего пути.

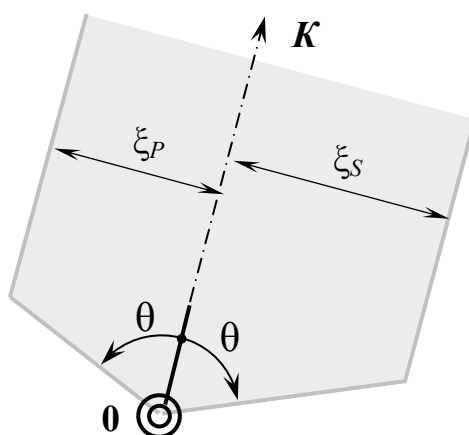


Рис. 5.1. Область движения и маневров

5.4. Входные и выходные данные модели обстановки

Совокупность судов, оказывающих то или иное влияние на меры по предупреждению столкновений, обычно рассматривается как **система судов-целей** (ССЦ). Им присваиваются порядковые номера – $1, 2, \dots, n$, где n – количество судов в ССЦ ($n \geq 1$). К обозначению «цели», при необходимости, в индексе добавляется ее номер, например, СЦ₅. Номер судна оператора считается **нулем**. Ниже на схемах и рисунках положение СО и СЦ обозначается их номерами. Произвольно выбранная в ССЦ «цель» характеризуется символом J или H , отражающим ее номер.

Система ССЦ с добавленным в нее судном оператора считается **расширенной** и обозначается РСЦ. Во времени топология этой системы не остается неизменной. Когда все суда идут постоянными курсом и скоростью, то их координаты изменяются со временем линейно. РСЦ с таким характером изменения, при котором не проявляются инерционные эффекты, относится к классу **стационарных**. При маневрировании хотя бы одной «цели» РСЦ становится нестационарной [1]. Обычно РСЦ считают стационарной, так как периоды маневров судов малы.

Модель образуемых судами ситуаций предназначается для получения по данным источников информации характеристик, отражающих состояние

РССЦ. Источники информации служат измерительные приборы, средства связи, электронные навигационные пособия и другие датчики.

Опорными числовыми параметрами стационарной РССЦ являются координаты, курс и скорость (X_J, Y_J, K_J, V_J) входящих в систему судов, где для судна оператора $J = 0$. Стационарный характер системы описывается линейными алгебраическими уравнениями, которые отражают прямолинейное равномерное движение судов:

$$\left. \begin{aligned} X_J(t) &= X_J(t_0) + V_J \cdot \sin K_J \cdot (t - t_0) \\ Y_J(t) &= Y_J(t_0) + V_J \cdot \cos K_J \cdot (t - t_0) \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

где t_0 - начальный момент времени.

С помощью этих выражений, при необходимости, прогнозируется состояние РССЦ на определенное время вперед. Опорные данные позволяют по формулам (3.12)-(3.19) для каждой пары судов системы найти значения параметров их сближения.

Ситуации расхождения характеризуются также другими параметрами и отношениями, которые отражаются в ее модели. Так как при решении задач предупреждения столкновений требуется учитывать как количественные, так и качественные характеристики РССЦ, то в ее описание включается логико-лингвистическая составляющая [6]. Основные лингвистические параметры с возможными терминами представлены в табл. 5.1. Эти переменные приведены *к перечисляемому виду*, в котором терминам присваиваются порядковые номера. Такая особенность позволяет упростить запись алгоритмов путем замены в логических выражениях названий термов их порядковыми номерами. Ниже, если имеются в виду не термы, а их порядковые номера, в верхнем индексе обозначения лингвистической переменной добавляется символ N , например, U^{*N} .

Как уже отмечалось, моделью ситуации устанавливается связь между получаемыми об ее развитии сведениями (входной информацией), и выходными величинами (сжатыми характеристиками, обеспечивающими понимание особенностей рассматриваемого процесса).

Входные величины характеризуют:

- район плавания;
- состояние видимости;
- «цели» и параметры их движения;
- собственное судно;
- положения регламентирующих документов.

В СПС_{II}, отображающих электронные карты, информация о районе плавания содержится в картографической базе данных (КБД). Основными данными о «целях» и собственном судне служат их текущее положение, курс, скорость, навигационный статус, размеры.

Выходная информация - это количественная и качественная характеристики ситуации. При выборе этих показателей учитываются следующие обстоятельства.

Таблица 5.1. – Перечень основных признаков ситуации

№ пп	Лингвистическая переменная	Обозн.	Термы (значения лингвистической переменной)
1.	Видимость	W^*	0 - Нормальная; 1 - Ограниченная.
2.	Район плавания	R^*	1 - Открытое море; 2 - Прибрежные воды; 3 - Мало стесненные воды; 4 - Стесненные воды.
3.	Интенсивность движения	I^*	1 – Малая; 2 - Средняя; 3 – Большая.
4.	Уровень границ безопасности	U^*	1 - Низкий; 2 - Умеренный; 3 - Средний; 4 - Высокий; 5 – Очень высокий.
5.	Статус судна J согласно пр. 18, МППСС72	S_J^*	1 – С механическим двигателем; 2 - Парусное; 3 – Занятое ловом рыбы; 4 – Ограниченное в возможности маневрировать; 5 – Лишенное возможности управляться.
6.	Статус судна H по отношению к судну J	S_{JH}^*	-1 – Низший; 0 - Равный.; 1 - Высший.;
7.	Категория судна H по степени опасности для судна J	C_{JH}^*	1 - Безопасное; 2 - Безопасное лимитирующее маневр судна J ; 3 - Потенциально опасное; 4 - Опасное I степени; 5 - Опасное II степени; 6 - Опасное III степени;
8.	Вид сближения судов H и J	A_{JH}^*	1 - Обгон судна J судном H ; 2 – Обгон судна H судном J ; 3 - Пересечение курсов, судно H слева; 4 - Пересечение курсов, судно H справа; 5 - Идущие прямо (или почти прямо) друг на друга суда J и H . 6 – Обгоняемое судно H впереди траверза судна J ; 7 – Необгоняемое судно H впереди траверза судна J ; 8 – Судно H на траверзе J или позади траверза слева; 9 – Судно H на траверзе J или позади траверза справа.
9.	Вид судна H по характеру влияния на выбор судном J заблаговременных мер по предупреждению столкновения	G_{JH}^*	0 – Не определяет мер судна J по предупреждению столкновения; 1 – Определяет, что судно J будет обязано сохранять курс и скорость (H главное потенциально опасное судно для J); 2 – Определяет, что судно J будет обязано предпринять маневр расхождения (H главное потенциально опасное судно для J); 3 – Определяет, что судно J обязано сохранять курс и скорость (H главное опасное судно для J); 4 – Определяет, что судно J обязано предпринять маневр расхождения (H главное опасное судно для J).

Правила МППСС-72 в основном координируют действия двух судов при расхождении. Учитывая важность бинарных отношений, одним из основных показателей состояния РССЦ считается **численная характеристика**

$$\mathbf{Q}_S = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{00} & \mathbf{Q}_{01} & \dots & \mathbf{Q}_{0H} & \dots & \mathbf{Q}_{0n} \\ \mathbf{Q}_{10} & \mathbf{Q}_{11} & \dots & \mathbf{Q}_{1H} & \dots & \mathbf{Q}_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{Q}_{J0} & \mathbf{Q}_{J1} & \dots & \mathbf{Q}_{JH} & \dots & \mathbf{Q}_{Jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{Q}_{n0} & \mathbf{Q}_{n1} & \dots & \mathbf{Q}_{nH} & \dots & \mathbf{Q}_{nn} \end{bmatrix}. \quad (5.2)$$

Компоненты этой матрицы, кроме диагональных, являются векторами относительных состояний пар судов РССЦ

$$\mathbf{Q}_{JH} = [\Pi_{JH} \ D_{JH} \ \vec{d}_{JH} \ \vec{t}_{JH}]^T.$$

Диагональные элементы характеризуют положение и параметры движения судов относительно грунта

$$\mathbf{Q}_{JJ} = [X_J \ Y_J \ K_J \ V_J]^T.$$

Второй показатель \mathbf{Z}_S с кодовыми элементами Z_{JH} отражает **качественное состояние РССЦ**

$$\mathbf{Z}_S = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & \dots & Z_{0H} & \dots & Z_{0n} \\ Z_{10} & Z_{11} & \dots & Z_{1H} & \dots & Z_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{J0} & Z_{J1} & \dots & Z_{JH} & \dots & Z_{Jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{n0} & Z_{n1} & \dots & Z_{nH} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix}. \quad (5.3)$$

Компоненты матрицы \mathbf{Z}_S являются трехзначными кодами. Диагональные элементы равны нулю ($Z_{JJ} = 000$). Остальные значения образуются номерами термов трех лингвистических переменных

$$Z_{JH} = G_{JH}^{*N} C_{JH}^{*N} A_{JH}^{*N}. \quad (5.4)$$

где термы переменной A_{JH}^* с номерами от 1 до 5 относятся к сближению судов при нормальной видимости, а с номерами (6÷9) – когда она ограничена.

Каждая (J -ая) из строк матрицы Z_S может содержать только один элемент $Z_{JH} \geq 100$, либо не иметь его. Если в J -ой строке Z_S все элементы меньше 100, то для судна J другие суда не представляют угрозы. Когда такое значение Z_{JH} имеется, то «цель» H является главной для судна J .

Присутствие в названной матрице значения $Z_{JH} \geq 340$ указывает, что судно H в ближайшее время может или обязано выполнить маневр расхождения.

Показатели Q_S , Z_S состояния РССЦ могут использоваться как оператором СУДС, оценивающим «со стороны» систему судов в своем районе, так и оператором, находящимся на одном из судов РССЦ. Элементы матрицы Z_S анализируются в первую очередь, так как они характеризуют качественные стороны ситуации.

Когда задача расхождения рассматривается с позиции собственного судна, то в матрице Z_S основным интерес представляют элементы первой строки Z_{0H} и равные или превышающие 340 коды других строк, которые указывают, что в ближайшее время соответствующее этой строке судно может или обязано совершить маневр.

В матрице Q_S на судне оператора анализируются элементы первой строки Q_{0H} и диагональные значения Q_{JJ} .

Методика получения матриц Q_S и Z_S является обобщенным алгоритмом оценки состояния РССЦ. Процедуры нахождения элементов этих матриц освещаются в параграфе 5.6.

На переходе характеризующие ситуацию оценки получаются с помощью ее модели непрерывно и отражают развитие ситуации в процессе функционирования объекта управления.

5.5. Блок-схема алгоритма оценки ситуаций

Алгоритм анализа ситуаций сближения судов можно представить в виде блок-схемы, показанной на рис. 5.2. В нем можно выделить блоки (этапы обработки) **А** и **Б**.

На первом этапе устанавливается наличие угрозы столкновения. К нему относятся операции:

- формирование границ области движения и маневра;
- определение степени стесненности района плавания и интенсивности движения в нем;
- нахождение или уточнение границ d^S , t^S безопасных ДСПА и ТСПА;

- выявление маневров «целей»;
- оценка риска столкновения на участках пути СО;
- обнаружение опасных «целей».

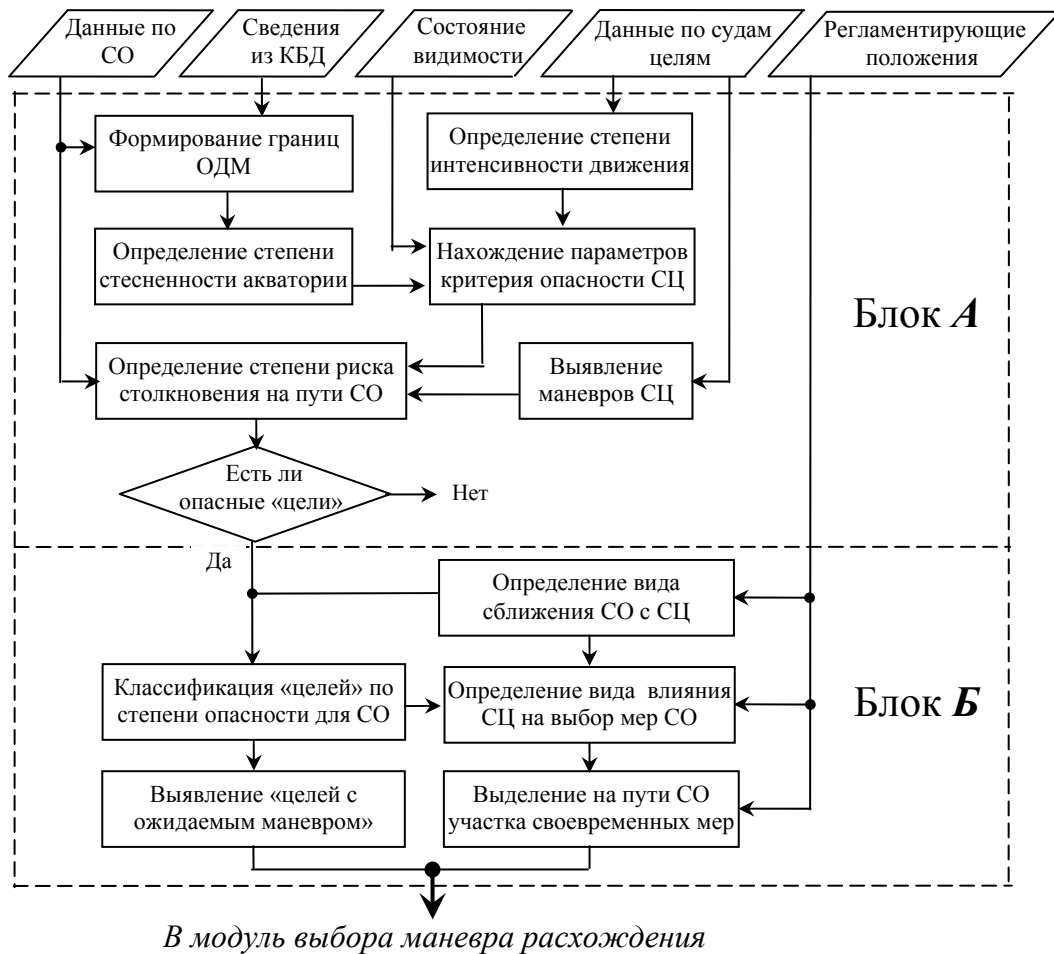


Рис. 5.2. Блок-схема процедуры оценки ситуаций

Состояние видимости (термы переменной W^* , см. табл. 5.1) определяется в зависимости от дальности визуального обнаружения объектов в районе плавания.

Степень стесненности акватории (значения R^*) оценивается по ширине ОДМ либо с помощью другой подходящей величины.

Уровень интенсивности движения (термы I^*) устанавливается по среднему расстоянию между судами РСЦ, либо по другому параметру, характеризующему численно плотность движения.

Параметры d^S , t^S критерия безопасности СЦ устанавливаются в зависимости от условий плавания. Основными факторами, влияющими на выбор d^S , t^S , являются состояние видимости, стесненность района плавания, интенсивность движения в нем. Дополнительно учитываются размеры СО, его маневренные качества и другие причины, если они

существенно влияют на границы, найденные в зависимости от основных факторов.

Маневры «цели» выявляются по несоответствию ее засечек гипотезе прямолинейного равномерного движения. Для этого используется определенный критерий. По данным АИС маневры «цели» обнаруживаются гораздо быстрее, чем по информации РЛС.

Оценка распределения риска столкновения вдоль линии пути СО состоит в выделении на ней участков, где СО находится вблизи других судов и на которых будет, или может возникнуть, чрезмерное сближения с ними.

Опасность столкновения оценивается по ДСРА и ТСРА с помощью d -или $T \cdot d$ -критерия. Согласно первому критерию «цель» представляет угрозу, когда только ДСРА меньше d^s . По $T \cdot d$ -критерию опасность столкновения существует, когда ДСРА меньше d^s и ТСРА меньше t^s . В судовождении обычно используется второй критерий. Удовлетворяющие лишь d -критерию «цели» считаются *потенциально опасными*.

Второй этап обработки проводится при наличии угрозы столкновения, когда необходимо определить значения признаков, влияющих на выбор мер, обеспечивающих безопасное расхождение. В этом случае к процедурам блока А (см. рис. 5.2) добавляются операции блока Б:

- классификация «целей» по степени опасности;
- определение главной «цели» и вида сближения с ней;
- установление обязанностей СО при расхождении;
- выявление «целей», которые в ближайшем будущем могут выполнить маневр («целей с ожидаемым маневром»);
- выделение на линии курса СО участка заблаговременных мер по расхождению.

В результате классификации находится категория C_{JH}^{*N} «цели» по степени опасности для СО (см. табл. 5.1). Вид A_{JH}^{*N} сближения СО с «целями» (см. табл. 5.1) определяется в соответствии с МППСС-72.

По виду сближения и навигационным статусам СО и каждой из «целей» устанавливается, определяет ли «цель» меры СО. В результате находится главная «цель» и показатель G_{JH}^{*N} . Он отражает, должно ли СО при расхождении сохранять элементы движения или выполнять маневр. Учитываемый при таком определении навигационный статус входит в передаваемую по линии АИС информацию о судне. Кроме того, его можно установить по огням или знакам, которые согласно МППСС-72 несут суда.

«Цели», которые в ближайшее время могут совершить маневр, выявляются для:

- тщательного контроля их движения;
- учета их возможных действий при выборе маневра.

Для установления, будет или нет «цель» в ближайшее время маневрировать, применяется такая же методика, что и для определения необходимости маневра СО. В обоснование такого подхода отметим

следующее. Требования к подготовке судоводителей определены Стандартами по обучению, сертификации и несению вахты на мостике (конвенция STCW). Логично считать, что судоводители, осуществляющие управление на практике, решают задачи с помощью одинаковых методов, сопоставляют и анализируют аналогичные признаки, факторы, параметры. Поэтому в СПС при прогнозировании маневров «целей» каждая из них условно рассматривается как судно оператора по отношению к другим судам.

При таком подходе следует помнить о возможных отклонениях действий СЦ от их прогноза на судне оператора. Это объясняется тем, что судоводители разных судов обладают лишь частью, причем неодинаковой, информации об обстановке и субъективно ее оценивают.

Чтобы ориентировочно судить, когда меры СО по предупреждению столкновений будут заблаговременными, на пути СО выделяется соответствующий им интервал.

5.6. Зависимости, используемые при анализе обстановки

Значения параметров, входящих в оценку Q_S , находятся с помощью формул, приведенных в параграфах 3.8, 3.9. Согласно требованиям ИМО СПС должна представлять на экране в цифровом виде *пеленг и дистанцию, курс и скорость, ДСРА и ТСРА* любой «цели», выбранной оператором.

Оценка степени риска столкновения. Приведем предложенный для такой оценки в работе [47] алгоритм. Согласно ему степень риска столкновения находится с использованием нечеткой логики по значениям ДСРА и ТСРА. Эти параметры нормируются по следующим правилам

$$\bar{d} = \vec{d} / L, \quad \bar{t} = \vec{t} \cdot V / L;$$

где \bar{d} , \bar{t} - нормированные значения ДСРА и ТСРА;

L , V - длина и скорость судна оператора.

От нормированных числовых величин переходят к лингвистическим переменным \bar{d}^* , \bar{t}^* с нечеткими значениями (термами). Для первой переменной выделено пять термов, а для второй – восемь (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Названия значений (термов)

№ терма \bar{d}^*	№ терма \bar{t}^*	Код терма	Название значения
-	1	NB	Negative big (Большое со знаком «-»)
-	2	NM	Negative medium (Среднее со знаком «-»)
-	3	NS	Negative small (Малое со знаком «-»)
1	4	PS	Positive small (Малое со знаком «+»)
2	5	PMS	Positive medium small (Полусреднее со знаком «+»)
3	6	PM	Positive medium (Среднее со знаком «+»)
4	7	PMB	Positive medium big (Полубольшое со знаком «+»)
5	8	PB	Positive big (Большое со знаком «+»)

Функции принадлежности (ФП) к выделенным термам показаны на рис. 5.3, а, б.

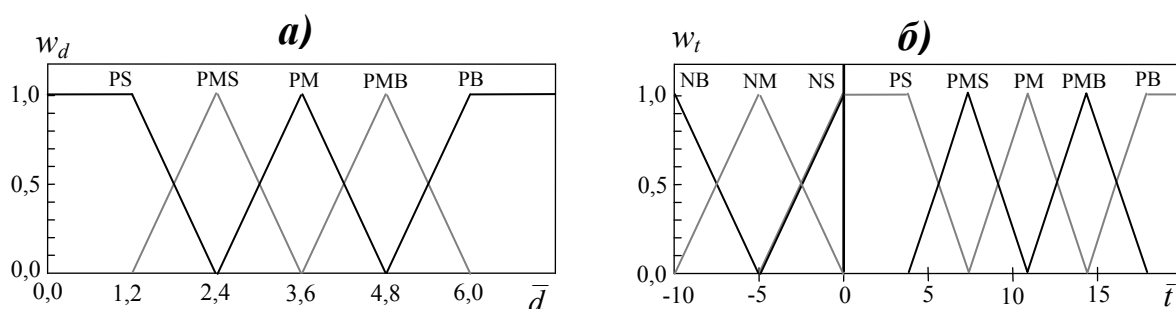


Рис. 5.3. Функции принадлежности к термам

По ФП определяются степени w_{di} , w_{tj} принадлежности к термам значений \bar{d} , \bar{t} «цели». В результате находятся два вектора

$$[w_{d1}, w_{d2}, \dots, w_{d5}], \quad [w_{t1}, w_{t2}, \dots, w_{t8}].$$

Таблица 5.3. – Табличные значения p_{ij} степени риска столкновения

		Т С Р А							
		1. NB	2. NM	3. NS	4. PS	5. PMS	6. PM	7. PMB	8. PB
D C P A	1. PS	-0.2	-0.6	-1.0	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
	2. PMS	-0.2	-0.2	-0.6	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2
	3. PM	-0.2	-0.2	-0.2	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2
	4. PMB	-0.2	-0.2	-0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2
	5. PB	-0.2	-0.2	-0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

В зависимости от термов ДСРА и ТСРА экспертами определены 40 степеней p_{ij} риска (табл. 5.3). Принадлежность w_{ij} этих степеней к искомому значению определяется по специально выбранной функции

$$w_{ij} = F(w_{di}, w_{tj}).$$

Количественная оценка риска столкновения с одной «целью» рассчитывается по формуле:

$$p_0 = \frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^8 w_{ij} p_{ij}}{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^8 w_{ij}}.$$

Когда имеется несколько «целей», показателем риска столкновения считается максимальная из оценок.

Принцип определения границ безопасности. Для выявления угрозы столкновения назначаются границы d^S , t^S безопасных значений ДСРА и ТСРА. Эти границы находятся в зависимости от условий плавания (состояния видимости, стесненности акватории, интенсивности движения и др.). Для разных географических районов значения d^S , t^S могут быть установлены:

- на основе опросов судоводителей статистическим путем;
- консультациями с экспертами;
- по зависимости, связывающей границы безопасности с основными влияющими на них факторами.

Последний путь состоит в следующем. Соответствующие значениям W^* , R^* , I^* границы d^S , t^S находятся с помощью правил логического вывода, полученных на основе анализа процессов расхождения с учетом мнения судоводителей. Эти правила представляются в табличном виде, например, как в табл. 5.4 (значения термов U^* в ней выбраны приближенно).

Таблица 5.4. – Логика получения номеров термов U^*

		R^{*N}			
		1	2	3	4
I^{*N}					
$W^{*N} = 0$	1	4	4	3	2
	2	4	3	2	2
	3	3	2	1	1
$W^{*N} = 1$	1	5	5	4	3
	2	4	4	3	2
	3	4	3	2	2

Найденное для конкретных условий значение U^{*N} декодируется в соответствии с установленной экспертами зависимостью между термами U^* и границами безопасности. Примером может служить табл. 5.5, в индексе значений которой буквы А и В обозначают соответственно начальное и конечное значения множеств. Из множеств $\Delta\vec{d}$ и $\Delta\vec{t}$ берется по одному значению в качестве d^S , t^S . Этими границами обычно считаются средние значения полученных интервалов. Оператор должен иметь возможность корректировки d^S , t^S в пределах $\Delta\vec{d}$, $\Delta\vec{t}$.

Таблица 5.5. – Правило декодирования термов U^*

U^{*N}	1	2	3	4	5
$\Delta\vec{d}$	$d_{1A} \div d_{1B}$	$d_{2A} \div d_{2B}$	$d_{3A} \div d_{3B}$	$d_{4A} \div d_{4B}$	$d_{5A} \div d_{5B}$
$\Delta\vec{t}$	$t_{1A} \div t_{1B}$	$t_{2A} \div t_{2B}$	$t_{3A} \div t_{3B}$	$t_{4A} \div t_{4B}$	$t_{5A} \div t_{5B}$

Установление статуса судов. Навигационные статусы S_J^* , S_H^* судов J , H определяются в соответствии с табл. 5.1. Статус S_{JH}^* судна H по отношению к судну J находится сравнением S_H^{*N} , S_J^{*N} . Когда номер статуса S_H^* меньше номера S_J^* , то $S_{JH}^{*N} = -1$. Если S_H^{*N} больше S_J^{*N} , то $S_{JH}^{*N} = 1$. При S_H^{*N} равном S_J^{*N} - статус $S_{JH}^{*N} = 0$.

Определение геометрии сближения. Выделенные в МППСС-72 ситуации (обгон, пересекающиеся курсы, движение прямо или почти прямо друг на друга) различаются по курсовому углу (КУ), ракурсу «цели» и разности курсов судов:

q_{JH} - курсовой угол судна H у судна J ;

q_{HJ} - курсовой угол судна J у судна H ;

Γ_1 - разность между контркурсом ($\bar{K}_J \pm 180^\circ$) судна J и курсом \bar{K}_H судна H .

Приведенные углы представляются в полукруговом счете.

Обычно выделяют девять видов сближения двух судов: пять - для судов на виду друг у друга, четыре - для ограниченной видимости (табл. 5.6). В этой таблице:

$q_{JH}(0)$, $q_{HJ}(0)$ – КУ в момент начала решения задачи расхождения;

Δ_q – сумма амплитуды рыскания судна на курсе и половины малого угла, при котором днем видны мачты другого судна в створе, а ночью – оба его бортовых огня ($\Delta_q \approx 6 \div 10^\circ$).

Таблица 5.6. – Логика определения термов переменной A_{JH}^*

№	Вид ситуации сближения	Границы терма (множества)
1	Обгон судна J судном H	$(W^{*N} = 0)$ и $(112,5^\circ < q_{HJ}(0) < 180^\circ)$
2	Обгон судна H судном J	$(W^{*N} = 0)$ и $(112,5^\circ < q_{JH}(0) < 180^\circ)$
3	Пересечение курсов, судно H с левого борта судна J	$(W^{*N} = 0)$ и $(-112,5^\circ \leq q_{HJ}(0) < -\Delta_q)$ и $(\Delta_q < q_{JH}(0) \leq 112,5^\circ)$
4	Пересечение курсов, судно H с правого борта судна J	$(W^{*N} = 0)$ и $(\Delta_q < q_{HJ}(0) \leq 112,5^\circ)$ и $(-112,5^\circ \leq q_{JH}(0) < -\Delta_q)$
5	Идущие прямо (или почти прямо) друг на друга J и H	$(W^{*N} = 0)$ и $(\gamma_1 \leq \Delta_q)$
6	Обгоняемое судно H впереди траверза судна J	$(W^{*N} = 1)$ и $(112,5^\circ < q_{JH}(0) < 180^\circ)$ и $(0^\circ \leq q_{HJ}(0) < 67,5^\circ)$
7	Необгоняемое судно H впереди траверза судна J	$(W^{*N} = 1)$ и $(0^\circ < q_{JH}(0) < 112,5^\circ)$ и $(0^\circ \leq q_{HJ}(0) < 67,5^\circ)$
8	Судно H на траверзе J или позади траверза слева	$(W^{*N} = 1)$ и $(-180 < q_{HJ}(0) \leq -67,5^\circ)$
9	Судно H на траверзе J или позади траверза справа	$(W^{*N} = 1)$ и $(67,5^\circ \leq q_{HJ}(0) < 180^\circ)$

Классификация судов по степени опасности приведена в табл. 5.1. Категории судов по этому признаку определяются в соответствии с правилом, представленным в табл. 5.7.

Принадлежность «целей» к категории «*лимитирующих маневр*» зависит от вида выбираемого СО действия. Безотносительно к виду маневра собственного судна считают, что из безопасных «целей» к первой категории относятся те, точки \vec{P}_H кратчайшего сближения с СО которых не принадлежат области движения и маневра. Соответственно, у СЦ_H второй категории \vec{P}_H являются точками ОДМ.

Для судов, не относящихся к безопасным, категории выделяются в зависимости от ТСРА. *Потенциально опасным* считается судно, ДСРА которого меньше d^s , а ТСРА больше t^s . В этом случае необходимости в действиях для предупреждения столкновения еще нет.

При выполнении условия $\vec{d} \leq d^s$ и $0 < \vec{t} \leq t^s$ приближающееся судно является *опасным*, и возникает обязанность принимать меры в соответствии с МППСС-72.

Таблица 5.7. – Правила определения категорий C_{JH}^* судов по степени их опасности

J	№ терма	Категория судна H	Границы терма (множества)
$J=0$	1	Безопасное	$[\vec{t} \leq 0 \text{ или } (\vec{d} > d^s \text{ и } \vec{t} > 0)] \text{ и } \vec{P}_H \notin \text{ОДМ}$
	2	Безопасное лимитирующее маневр J	$[\vec{t} \leq 0 \text{ или } (\vec{d} > d^s \text{ и } \vec{t} > 0)] \text{ и } \vec{P}_H \in \text{ОДМ}$
$1 \leq J \leq n$	1	Безопасное	$\vec{t} \leq 0 \text{ или } (\vec{d} > d^s \text{ и } \vec{t} > 0)$
	2	Безопасное лимитирующее маневр J	-----
	3	Потенциально опасное	$\vec{d} \leq d^s \text{ и } \vec{t} > t^s$
$0 \leq J \leq n$	4	Опасное I степени	$\vec{d} \leq d^s \text{ и } t^t < \vec{t} \leq t^s$
	5	Опасное II степени	$\vec{d} \leq d^s \text{ и } t^u < \vec{t} \leq t^t$
	6	Опасное III степени	$\vec{d} \leq d^s \text{ и } 0 < \vec{t} \leq t^u$

Во времени $\vec{t} \leq t^s$ сближения представляющих угрозу друг для друга судов выделяются три этапа [35].

Первый этап является интервалом времени $t^t < \vec{t} \leq t^s$ (или соответствующим ему участком пути), на котором меры судов по предупреждению столкновения считаются заблаговременными.

На **втором этапе** $t^u < \vec{t} \leq t^t$ действия судов к заблаговременным не относятся. Значение t^u представляет границу, после которой обоим судам необходимо срочно предпринимать маневр для избежания столкновения.

На **третьем этапе** $0 < \vec{t} \leq t^u$ ситуация становится чрезвычайной.

Границы перечисленных этапов можно определить следующим образом:

t^s - граница безопасности, при $\vec{t} \leq t^s$ суда обязаны принимать меры для предотвращения столкновения;

t^l - нижний предел интервала заблаговременных маневров (граница заблаговременности);

t^u - верхний предел срочных маневров (граница срочности).

Необходимость выделения названных этапов во времени сближения с опасной «целью» определена МППСС-72. Так правилом 8 требуется, чтобы действия по расхождению были заблаговременными. Поэтому оператор обязан знать, когда в процессе сближения его действия с высокой вероятностью будут считаться другим судном как заблаговременные.

Правило 17 (для судов на виду друг у друга) определяет:

1. Когда для судна, которому уступают дорогу и которое должно сохранять режим движения, становится очевидным, что другое судно, обязанное уступить дорогу, не предпринимает соответствующих мер, то первое **может** предпринять действие, чтобы избежать столкновения только собственным маневром.
2. Когда судно, которому уступают дорогу, обнаруживает, что оно настолько близко к другому судну, что столкновения нельзя избежать только действиями последнего, то первое судно **должно** предпринять такой маневр, который наилучшим образом поможет предотвратить столкновение.

Из приведенного первым положения вытекает необходимость выделения второго этапа, на котором судно, которому уступают дорогу, может предпринять действие для избежания столкновения *из-за запаздывания* с маневром уступающего дорогу судна.

Из второго положения следует обязанность выделять границу, после которой требуются срочные действия для избежания столкновения.

Границы интервалов опасного сближения зависят от состояния видимости, района плавания, интенсивности движения в нем, размеров СО, его маневренных качеств и ряда других факторов. Обычно на практике четко задается системе значение t^s . Граница t^l конкретно не устанавливается. В интервале $[t^s, t^l]$ в преобладающем большинстве случаев принимаются меры по предупреждению столкновения. Учитывая субъективность определения такого интервала, он считается *ориентировочным*.

Выделение компьютером на экране СПС такого интервала по отношению к главной «цели» оказывает помощь при решении задачи расхождения [4]. Например, этот участок на линии пути СО можно отобразить, как показано на рис. 5.4. Приведенные условные обозначения, кроме определения участка заблаговременных действий, указывают также, должно ли на нем судно оператора маневрировать или сохранять режим движения.

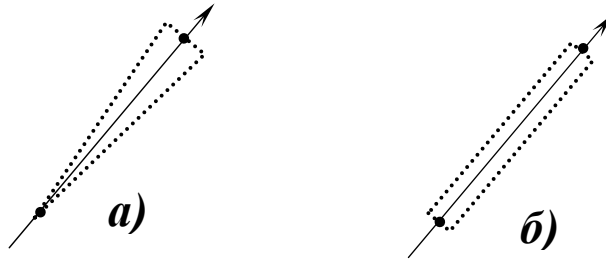


Рис. 5.4. Пример возможного отображения участка
заблаговременных мер на линии пути СО
а) СО обязано предпринять маневр, б) СО обязано сохранять K и V

Определение вида судна H по влиянию на меры судна J . Правилами МППСС-72 и обычной морской практикой рекомендуется *выбирать маневр расхождения, ориентируясь на главную «цель»*, но так, чтобы это действие не приводило к угрозе столкновения с другими судами. Также по отношению к ГЦ определяется, должно, или нет, судно оператора уступать дорогу при расхождении. Исходя из этого, при идентификации судна H по названному признаку используются две процедуры.

С помощью первой процедуры устанавливается, главная ли для судна J «цель» H . Главная «цель» выделяется из потенциально опасных ($\vec{d} < d^s$, $\vec{t} > t^s$) и опасных ($\vec{d} < d^s$, $\vec{t} \leq t^s$) судов по минимальному значению ТСРА.

Вторая процедура используется при наличии главного судна. Она служит для выяснения, является ли заблаговременным действием судна J по расхождению сохранение курса и скорости или выполнение маневра. Для получения ответа на вопрос, есть ли у судна J главная «цель» и какой ее номер (m_J), применяется следующее логическое правило

$$\left. \begin{array}{l} m_J = -1; t_{min} = t^p; \\ \text{Для } i = 0 \text{ до } n \text{ выполнить} \\ \text{если } (i \neq J \text{ и } C_{Ji}^{*N} \geq 3 \text{ и } \vec{t}_{Ji} < t_{min}) \text{ то } (m_J = i; t_{min} = \vec{t}_{Ji}) \end{array} \right\} . \quad (5.5)$$

Обычно считается, что $t^p = 60$ мин. при $t^s \leq 40$ мин., а когда $t^s > 40$ мин, то $t^p = 1,5 \cdot t^s$ мин.

Если главного судна нет, то после выполнения процедуры (5.5) $m_J = -1$. При наличии главной «цели» H находится значение G_{JH}^{*N} , определяющее привилегированность судна J .

Когда у судна J нет главной «цели» или она не является судном H , значение $G_{JH}^{*N} = 0$. Этому случаю отвечает условие

$$\text{Если } [m_J = -1 \text{ или } (m_J \geq 0 \text{ и } H \neq m_J)] \text{ то } G_{JH}^{*N} = 0.$$

Для пониженной видимости, когда «цель» H главная для судна J , значение G_{JH}^{*N} устанавливается по правилу

$$\left. \begin{array}{l} \text{Если } (W^* = 1 \text{ и } m_J \geq 0 \text{ и } H = m_J) \text{ то} \\ \text{если } C_{JH}^{*N} = 3 \text{ то } G_{JH}^{*N} = 2 \text{ иначе} \\ \text{если } C_{JH}^{*N} > 3 \text{ то } G_{JH}^{*N} = 4. \end{array} \right\}$$

Для нормальной видимости и главной «цели» H для судна J значения G_{JH}^{*N} находится в соответствии с логической зависимостью, представленной табл. 5.8. В ней для столбцов $S_{JH}^{*N} = 0$ считается, что J, H являются судами с механическим двигателем, в состав которых не входят лишённые возможности управляться.

Таблица 5.8.- Логика определения номеров термов G_{JH}^{*N} для случаев, когда ($W^* = 0$ и $m_J \geq 0$ и $H = m_J$)

A_{JH}^{*N}	$C_{JH}^{*N} = 3$			$C_{JH}^{*N} > 3$		
	$S_{JH}^{*N} = -1$	$S_{JH}^{*N} = 0$	$S_{JH}^{*N} = 1$	$S_{JH}^{*N} = -1$	$S_{JH}^{*N} = 0$	$S_{JH}^{*N} = 1$
1	2	2	2	4	4	4
2	1	1	1	3	3	3
3	1	1	2	3	3	4
4	1	2	1	3	4	3
5	2	2	2	4	4	4

Приведенные выше опорные параметры (цифровые и лингвистические) и отношения между ними составляют основу модели ситуаций сближения судов. Кроме этих элементов, в модель включают и дополнительные величины, характеризующие те или другие обстоятельства (например, характер груза СЦ и т.д.), которые требуется учитывать при расхождении в отдельных случаях (эпизодически).

5.7. Изобразительная модель для оперативной оценки ситуаций

Динамичность и повышенная опасность процесса судовождения требует отображения на дисплее СПС обстановки в виде, позволяющем оценивать ее оперативно. Это означает возможность быстрого распознавания безопасных, лимитирующих, потенциально опасных и опасных судов, определения главной «цели» и обязанности СО уступать ей дорогу или сохранять прежние K и V , а также подразумевает наглядность отражения распределения риска столкновения вдоль линии пути СО. Последнее состоит

- в отметке участков, где лимитирующие и опасные суда будут близко к судну оператора;
- в возможности быстрой глазомерной оценки ДСРА и ТСРА;
- в установлении, по носу или по корме пересекается курс «целей».

Анализ режимов отображения ЛОДов и ЛИДов, а также зон недопустимых позиций для маневра курсом (см. параграф 2.5) показывает, что эти виды представления обстановки вряд ли можно считать эффективными с позиции перечисленных выше требований.

Поэтому предлагается альтернативное отражение ситуаций, основанное на использовании точек \vec{P}_{0J} , в которых СЦ_J будут максимально близки к СО (РССЦ считается стационарной) [7]. Сокращенно названные позиции «целей» обозначаются ТКС (точки кратчайшего сближения). Они отображаются в области движения и маневра СО. Отсутствие ТКС в ОДМ указывает, что «цель» не лимитирует движение и маневры СО.

Метка, характеризующая степень опасности «цели», представляется в виде двух отрезков – точечного и сплошного (рис. 5.5.а). Общая их точка отмечает ТКС на линии пути СЦ_J. В квадратике около ТКС показывается номер «цели», к которой относится метка.

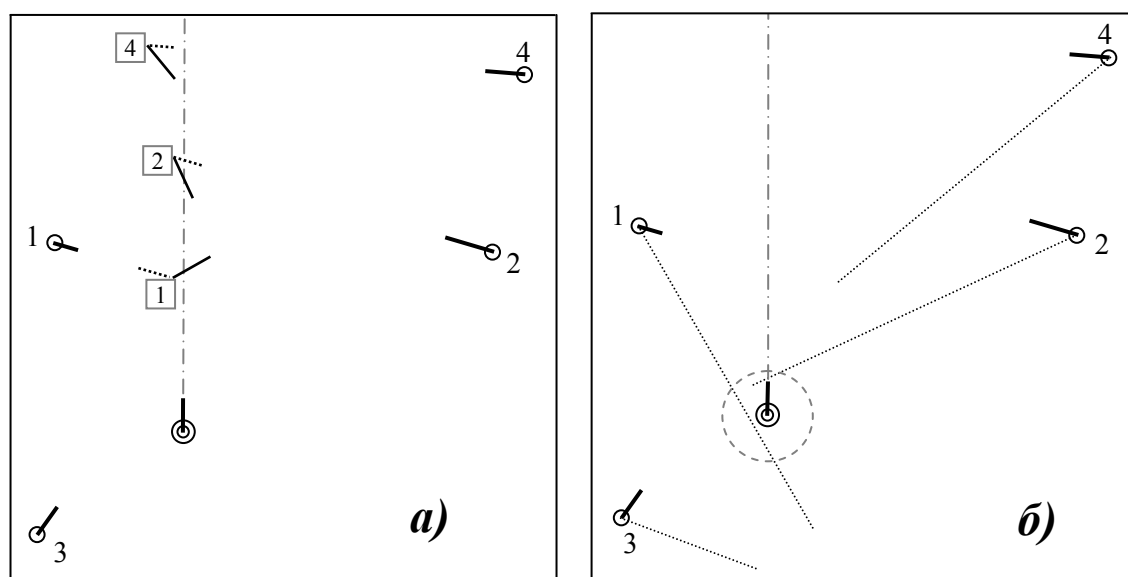


Рис. 5.5. Оценка опасности столкновений

а) с помощью МТКС «целей»;

б) с помощью ЛОДов.

Точечный отрезок метки указывает направление на эту «цель». По линии курса СО и этому отрезку устанавливается, по носу или по корме пересечет СО курс «цели».

Сплошной отрезок метки имеет длину d^s и указывает на позицию судна оператора в момент кратчайшего сближения с «целью». Расстояние от ТКС по направлению этого отрезка до линии пути судна оператора равно кратчайшему расстоянию, на котором разойдутся суда, если будут сохранять K и V .

Представленный указатель опасности «цели» назовем *меткой ее точки кратчайшего сближения* - МТКС_J, где *J* - номер «цели».

Когда сплошной отрезок МТКС_J пересекает линию пути СО, то «цель» *J* представляет угрозу. Если точка такого пересечения находится ближе всего к текущему месту судна оператора, то «цель» является главной. На рис. 5.5,*a* – это судно 1.

Достоинства модели. Предложенный способ дает четкую картину распределения риска столкновения по линии пути судна оператора и позволяет глазомерно оценить ДСРА и ТСРА. Его преимущество состоит в том, что он позволяет использовать для «целей» неодинаковые допустимые расстояния d^S , в том числе и определяемые по различным доменам судов.

К недостатку предложенного изображения ситуаций относится отсутствие свойств, облегчающих выбор маневров расхождения.

На рис. 5.5,*б* приведено используемое в САРП отображение обстановки в режиме ЛОД. Чтобы получить по изображению значения ДСРА и ТСРА, длину этих линий надо менять. При большом времени прогноза движения длинные вектора будут загромождать экран. Кроме того, при таком методе отображения нет четкой картины распределения риска столкновения по курсу судна оператора.

5.8. Особенности выбора границ безопасности

Определение границ d^S и t^S безопасных значений дистанции и времени кратчайшего сближения судов является важным вопросом оценки ситуаций. Особенность этих норм - зависимость от условий плавания. Из-за многочисленности объективных и субъективных факторов, влияющих на мореплавание, правилами МППСС-72 значения d^S и t^S конкретно не установлены. Обязанность их обоснованного выбора возложена на судоводителя. Он назначает эти значения, сообразуясь с условиями плавания, опираясь на рекомендации хорошей морской практики и свой опыт. Субъективность оценки обстановки приводит к разным значениям d^S и t^S на судах РССЦ. Формализация нахождения этих границ позволяет СПС устанавливать их допустимый диапазон для разных условий плавания и облегчает оператору выбор подходящих значений.

Нормы безопасности адекватные ситуации, образованной судами и границами судоходной акватории, называются *рациональными*. Они обозначены d^{SR} и t^{SR} . Осветим возможные варианты получения в СПС таких границ безопасности. Так как методика поиска d^{SR} и t^{SR} одинакова, подробно характеризуется выбор первой нормы.

Основные компоненты d^S . Норма d^S характеризует допустимое расстояние сближения между точками, определяющими положение судов. При решении задач расхождения на основе данных РЛС точке *O*, представляющей судно оператора, отвечает место антенны РЛС, а точке *J*,

обозначающей «цель», – центр ее радиолокационной отметки. При использовании информации АИС точки O и J совпадают с местом антенны GPS на судах.

Назначаемый предел ДСПА можно рассматривать как сумму трех компонентов:

$$d^s = \delta^s + \Delta_L + \Delta_\varepsilon. \quad (5.6)$$

В этом выражении

δ^s - граница безопасных дистанций по водной поверхности между корпусами судов;

Δ_L - поправка на размеры судна оператора и «цели»;

Δ_ε - расстояние, учитывающее погрешности определения ДСПА.

По информации РЛС найти с удовлетворительной точностью размеры «цели» не удастся. В этом случае обычно поправку Δ_L принимают равной длине L собственного судна, когда она больше одного кабельтова, и один кабельтов, когда L меньше этой величины.

Среднюю квадратичную величину σ_d погрешности определения дистанции кратчайшего сближения, можно рассчитать по формуле:

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_c^2 + (\vec{s} \cdot \sigma_k)^2} \approx \vec{s} \cdot \sigma_k. \quad (5.7)$$

В этом выражении:

σ_c – средняя квадратичная погрешность (СКП) определения положения «цели» относительно места СО;

σ_k – СКП относительного курса «цели»;

\vec{s} – расстояние по ЛОД от «цели» до точки кратчайшего сближения с ней.

Значение σ_k при установившемся сглаживании засечек «целей» в САРП в среднем составляет $\pm 1,5 \div 2,0^\circ$ [17, 29]. Учитывая, что начало решения задачи расхождения двух судов начинается в среднем на расстоянии 8 миль между ними, при $\sigma_k = 1,5^\circ$ по формуле (5.7) получим значение $\sigma_d = 2$ кб. Поправка Δ_ε берется равной 95% погрешности определения ДСПА. Значению $\sigma_d = 2$ кб. таким образом, соответствует $\Delta_\varepsilon = 4$ кб.

Исходя из вышеизложенного, поправку, учитывающую размеры судов и погрешность определения ДСПА, считают равной 5 кб. и меньше этого значения d^s не задают. Для стесненных условий рекомендуется устанавливать d^s не меньшим 5 кб, а для открытого моря - $15 \div 30$ кб. Дистанцию 5 кб назначают, когда условия плавания ограничивают маневры в

такой степени, что на большей дистанции разойтись затруднительно. Если же в стесненных водах такая возможность имеется, то обычно d^S устанавливают 10 кб. Больше 30 кб d^S обычно не задают. Этот верхний предел ниже обозначен \hat{d}^S .

При использовании АИС точность определения относительного курса значительно выше $\sigma_k \approx \pm 0,5 \div 1,0^\circ$. Кроме того, транспондер АИС передает данные о размере судна и месте расположения на нем антенны GPS, что позволяет рассчитать поправку Δ_L . Это дает возможность точнее определять ДСРА и применять, при необходимости, меньшие 5 кб. значения d^S .

Диапазон d^S . Безопасность процесса расхождения напрямую определяется минимальной дистанцией $\check{\delta}$ между точками корпусов судов по водной поверхности. Соответствующая задаваемому значению d^S величина δ^S может считаться показателем назначаемого уровня безопасности. Повышение этого уровня в среднем сопровождается ростом времени маневра расхождения и необходимого для него размера акватории.

В открытом море можно использовать наивысший уровень безопасности, при котором потери ходового времени на маневрирование вполне приемлемы. В этом случае задают d^S близкой к \hat{d}^S .

В стесненных водах такая граница может оказаться больше ширины безопасной полосы движения, так что разойтись на такой дистанции вообще будет невозможно.

Уменьшение размеров акватории из-за наличия навигационных препятствий и судов в районе плавания заставляет снижать d^S вплоть до наименьшей допустимой нормы, чтобы за счет уменьшения требуемого пространства для маневра расхождения с опасной «целью» снизить вероятность чрезмерного сближения с навигационными препятствиями и с другими судами.

Минимальная допустимая норма \check{d}^S параметра d^S находится по наименьшей безопасной дистанции $\check{\delta}^S$ между точками корпусов судов по водной поверхности. Если при определении $\check{\delta}^S$ исходить из максимального на глубокой воде расстояния, на котором возникает опасность «присасывания» при обгоне «цели» на параллельном курсе, то можно считать

$$\check{\delta}^S = 2,5 \cdot B,$$

где B – ширина наибольшего из расходящихся судов.

Соответствующая $\check{\delta}^S$ норма \check{d}^S складывается из $\check{\delta}^S$ и поправок, учитывающих размеры судов и погрешность определения ДСРА.

В стесненных водах не может быть удовлетворено выдвигаемое иногда требование, что при назначении d^s должны учитываться:

- время на обнаружение неблагоприятных действий «цели»;
- расстояние для дополнительного маневра СО в случае таких мер;
- возможность непрогнозируемых событий (например, внезапной потери управляемости, ошибки рулевого и т.д.).

Более реальным является условие минимизации риска столкновения в предположении нормального выполнения судами своих функций. Минимальному риску в этом случае соответствует расхождение судов на максимальной допустимой в сложившейся ситуации дистанции.

Рациональная граница безопасности. Находящаяся в диапазоне $[\check{d}^s, \hat{d}^s]$ максимальная дистанция, на которой возможно расхождение в конкретных условиях плавания, называется **рациональной границей безопасности** и обозначается d^{sr} . На основе опыта мореплавания установлено, что при $d^s = \hat{d}^s$ у СО достаточно свободного пространства для предупреждения столкновения даже при возникновении неожиданной ситуации. При d^s из диапазона $[\check{d}^s, \hat{d}^s]$ такого пространства может и не быть, но при нормальном функционировании судов удается обеспечивать безопасность движения. И только на расстоянии $d^s < \check{d}^s$ расхождение недопустимо из-за большой вероятности столкновения.

Задание границы d^{sr} облегчается, когда СПС может рекомендовать ее величину. При выработке такой рекомендации должно учитываться, что эта граница зависит от следующих факторов:

- географического положения (стесненности района плавания);
- размеров судов;
- маневренных характеристик судна оператора;
- интенсивности движения судов;
- состояния видимости.

Характеризуя пути получения в СПС значения d^{sr} для конкретных условий плавания, будем считать, что расходящиеся суда являются среднетоннажными, а их маневренные качества примерно одинаковыми.

Для возможности **расчета d^{sr} как функции основных факторов** выделяются параметры, характеризующие ограниченность района плавания, интенсивность движения, состояние видимости. Затем находятся соотношения между значениями этих параметров и d^{sr} . Эти зависимости устанавливаются на основе анализа точности определения и погрешностей прогнозирования параметров движения «целей», а также ограничений, накладываемых стесненностью акватории и количеством судов на расхождение.

Например, если степень стесненности акватории и плотность движения характеризовать термами лингвистических переменных R^* , I^* (см. табл. 5.1),

то для нормальной и ограниченной видимости можно установить соответственно функции, приближенно отражающие зависимость d^{sr} от этих факторов

$$\mu = f_{d1}(R^{*N}, I^{*N}); \quad (5.8)$$

$$\kappa = f_{d2}(R^{*N}, I^{*N}). \quad (5.9)$$

В этих выражениях μ и κ - относительные величины, называемые редуционными коэффициентами

$$\mu = d^{sr}/d^b; \quad \kappa = d^{sr}/d^b;$$

где d^b базовое значение (например, 3 мили).

Зависимости (5.8), (5.9) можно представить в табличном виде. Например, функцию (5.8) можно выразить таблицей 5.9.

Таблица 5.9. - Значения редуционного коэффициента μ

$I^{*N} \backslash R^{*N}$	1	2	3	4
1	μ_{11}	μ_{12}	μ_{13}	μ_{14}
2	μ_{21}	μ_{22}	μ_{23}	μ_{24}
3	μ_{31}	μ_{32}	μ_{33}	μ_{34}

По значению редуционного коэффициента μ адекватная условиям граница безопасности определяется по формуле

$$d^{sr} = \mu \cdot d^b.$$

Следует отметить, что при рассматриваемом подходе учет особенностей различных акваторий затруднителен.

Нахождение d^{sr} на базе изучения опыта мореплавателей. Судоводители выработали вполне определенные количественные значения d^{sr} для различных районов плавания. Логично предположить, что эти оценки отражают некоторый целесообразный критерий безопасности. Поэтому на основе представительного опроса можно получить обобщенные оценки d^s для основных районов плавания и их распределение. Наиболее часто используемое для рассматриваемой акватории значение d^s может быть принято для нее рациональным d^{sr} . При таком методе косвенно учитывается присущая районам интенсивность движения судов.

Определение с помощью экспертных оценок. При нахождении d^{sr} можно не опрашивать многих судоводителей, а опираться на мнение только

самых опытных из них (экспертов). Прибегнув к их консультациям, также можно выполнить поставленную задачу.

На основе опроса судоводителей или данных экспертов составляется таблица (вида 5.10) значений μ и κ для различных районов плавания.

Таблица 5.10. - Значения редуцированных коэффициентов μ и κ

	Район плавания	μ	κ
1	-----	μ_1	κ_1
2	-----	μ_2	κ_2
...
<i>i</i>	-----	μ_i	κ_i
...
<i>m</i>	-----	μ_m	κ_m

Для нормальной или ограниченной видимости адекватная району граница безопасности устанавливается соответственно по формулам

$$d^{sr} = \mu \cdot d^b \text{ или } d^{sr} = \kappa \cdot d^b.$$

Особенности определения границы ТСРА. Норма t^s связана с d^s , так как с уменьшением последней в среднем снижается и время, требуемое на выполнение маневра расхождения. Для стесненных вод обычно задают t^s из интервала 10÷15 мин., а для открытого моря – 15÷30 мин. Определение рациональных значений t^{sr} для конкретных акваторий, можно выполнить аналогично нахождению d^{sr} .

Кроме границы безопасности t^s , отмечающей момент возникновения взаимных обязанностей двух судов при опасном по d -критерию сближении, желательно также оценить и границы t^l , t^u заблаговременных и срочных маневров. Необходимость использования t^u возникает чрезвычайно редко, так как все предпринимаемые международными организациями меры направлены на то, чтобы чрезвычайных ситуаций расхождения вообще не было. Нахождение t^u обсуждается в главе 10.

Нижняя граница t^l заблаговременных действий четко или нечетко должна устанавливаться при каждом расхождении. Грубо ее считают равной половине t^s .

5.9. Алгоритм расчета поправки на размеры судов

По линии АИС получают информацию о длине, ширине «цели» и положении ее антенны GPS. Эти данные позволяют учесть размеры «цели» при назначении d^s .

На рис. 5.6 представлен контур судна в горизонтальной плоскости и обозначенное буквой A место его антенны GPS. С этой точкой жестко связано начало координатной системы lb , ориентированной по направлению диаметральной плоскости.

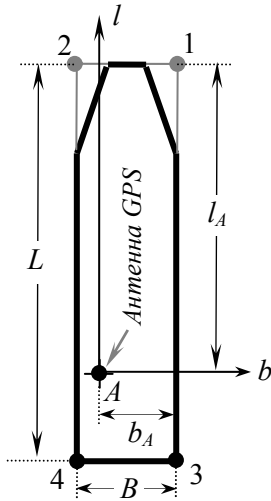


Рис. 5.6. Схема корпуса судна



Рис. 5.7. Схема движения корпуса СО относительно СЦ_н

Для упрощения нахождения поправок на размеры судов их контуры считаются прямоугольниками. На рисунке 5.6 вершины такого прямоугольника обозначены цифрами 1, 2, 3, 4, а расстояния от места антенны до носовой части судна и до правого борта – соответственно l_A и b_A . В системе lb координаты вершин представляющего судно прямоугольника будут следующими:

$$\left. \begin{aligned} l_1 = l_A, & \quad b_1 = b_A; & l_2 = l_A, & \quad b_2 = b_A - B \\ l_3 = l_A - L, & \quad b_3 = b_A; & l_4 = l_A - L, & \quad b_4 = b_A - B \end{aligned} \right\}, \quad (5.10)$$

где L, B - длина и ширина судна.

Степень опасности столкновения двух судов (рис. 5.7) характеризуется кратчайшим расстоянием $\tilde{\delta}$ свободного водного пространства между их корпусами при расхождении. Если пренебречь погрешностью измерения расстояния \vec{d} , то оно будет связано с $\tilde{\delta}$ соотношением

$$\vec{d} = \tilde{\delta} + \Delta_{L0} + \Delta_{LH}, \quad (5.11)$$

где Δ_{L0}, Δ_{LH} - поправки, учитывающие размеры судна оператора и СЦ_н.

Величина поправок Δ_{L0}, Δ_{LH} зависит от того, по носу или по корме пересекается курс «цели» судном оператора. Так как принцип расчета

поправок Δ_{L0} , Δ_{LH} одинаков, рассмотрим нахождение только Δ_{L0} . Положение корпуса СО (в виде прямоугольника), истинный \bar{K} и относительный k_{H0} курсы представлены на рис. 5.8. Для пересечения линии курса СО другим судном по носу значение поправки Δ_{L0} обозначено Δ^\wedge , а при прохождении его по корме - Δ^\vee .

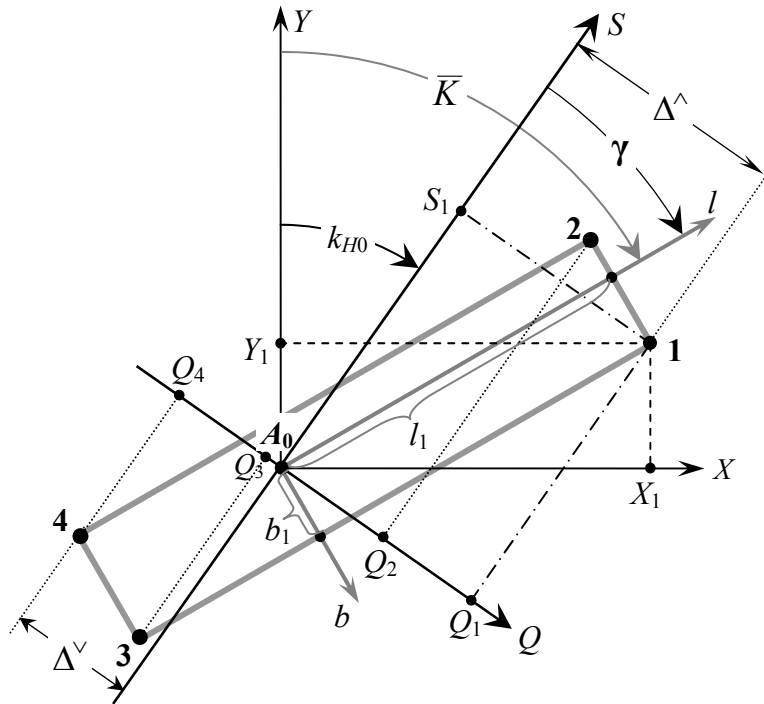


Рис. 5.8. К расчету поправки на размеры судна

Свяжем с местом антенны GPS судна три прямоугольные координатные системы: lb , XY , SQ , где ось Y системы XY ориентирована по меридиану, а ось S системы SQ - по линии относительного курса k_{H0} . Координаты вершин прямоугольника в первой системе определяются выражениями (5.10).

Расчет поправки Δ^\wedge или Δ^\vee , учитывающей размеры судна, сводится к преобразованию координат l_i, b_i ($i = 1, 2, 3, 4$) вершин представляющего его прямоугольника из системы lb в систему SQ . Оно может быть выполнено с учетом угла $\gamma = \bar{K} - k_{H0}$ между осями этих систем, либо преобразованием l_i, b_i сначала в систему XY , а затем из нее в SQ .

На рис. 5.8 выполнены построения, поясняющие пересчет координат только первой вершины прямоугольника. Формулы преобразования координат этой вершины из системы lb в систему SQ имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= l_1 \cdot \cos \gamma - b_1 \cdot \sin \gamma \\ Q_1 &= l_1 \cdot \sin \gamma + b_1 \cdot \cos \gamma \end{aligned} \right\}. \quad (5.12)$$

При пересчете координат из системы lb в систему SQ через систему XU получаем:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= l_1 \cdot \cos \bar{K} - b_1 \cdot \sin \bar{K} \\ Y_1 &= l_1 \cdot \sin \bar{K} + b_1 \cdot \cos \bar{K} \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} S_1 &= Y_1 \cdot \cos k_{H0} + X_1 \cdot \sin k_{H0} \\ Q_1 &= -Y_1 \cdot \sin k_{H0} + X_1 \cdot \cos k_{H0} \end{aligned} \right\}. \quad (5.13)$$

Координаты S_i, Q_i других вершин представляющего контур судна прямоугольника находятся аналогично.

Для случая, когда «цель» пересекает по носу линию пути показанного на рис. 5.7 судна оператора, получаем

$$\Delta^{\wedge} = \text{MAX} \{ |Q_1|, |Q_2| \}. \quad (5.14)$$

При пересечении курса судна по корме

$$\Delta^{\vee} = \text{MAX} \{ |Q_3|, |Q_4| \}. \quad (5.15)$$

Корректный учет размеров судна при расхождении в стесненных районах позволяет повысить безопасность плавания.

6. ПРИНЦИПЫ ПОИСКА МАНЕВРОВ РАСХОЖДЕНИЯ

6.1. Основные понятия

В одних и тех же условиях для устранения угрозы столкновения возможно маневрирование курсом или скоростью, расхождение левым либо правым бортом, пропуск «цели» по носу или по корме и т.д. Для реализации среди возможных решений желательно отобрать наилучшее по определенному критерию (оптимальное).

При выполнении задачи расхождения преследуются три цели:

1. Безопасность;
2. Соответствие МППСС-72;
3. Экономичность.

Для достижения этих целей могут использоваться как отдельные простые действия (маневры), так и их последовательность. К маневрам относится *изменение курса, изменение скорости, циркуляция*. Последнее действие из-за особенностей применения при расхождении рассматривается как отдельный от изменения курса вид.

Планируемое для устранения опасности других судов действие или их последовательность считаются стратегией решения рассматриваемой задачи.

Стратегия расхождения – это предназначенный для предотвращения столкновения план движения, включающий программную траекторию с указанной начальной и конечной точками и с выделенными на ней участками маневров.

За начало этой программной траектории принимается текущее место СО. Ее конец находится с учетом следующего обстоятельства. Выбираемый по отношению к главной «цели» маневр не должен приводить к опасности чрезмерного сближения с другими судами. Для учета этого условия при анализе эффективности конечную точку стратегии расхождения располагают по времени от точки окончания последнего входящего в стратегию маневра через определенный интервал. Его можно принять равным $1,2 \cdot t^S$.

К вопросам нахождения стратегии расхождения относятся:

- Планирование маневров с учетом инерционности судна;
- Установление критерия, позволяющего судить о качестве намечаемых стратегий;
- Выбор процедуры определения эффективной стратегии расхождения.

Необходимость учета инерционности судна. Морские суда являются крупными динамическими объектами, обладающими большой инерцией, которая проявляется при маневрировании. Пренебрежение этим обстоятельством при планировании действий для предупреждения столкновений может привести к большим погрешностям в результатах прогнозирования и повлиять на безопасность расхождения [2, 33]. Если, например, считать изменение курса судна на 90^0 мгновенным, то это приводит к погрешности в расстоянии кратчайшего сближения, равной

выдвигу судна на циркуляции, достигающему у судов $4.5 \cdot L$, где L - длина судна. У судов длиной 200 м – это около 5 кб. Погрешности от пренебрежения инерцией судна при маневре скоростью еще значительно. Они могут достигать нескольких миль.

Принципы оценки эффективности систем с несколькими нечеткими целями. Для нахождения оптимальных стратегий расхождения необходимо выбрать критерий (меру) их качества и определить его пригодность. В любом случае критерий эффективности должен соответствовать целям рассматриваемой системы и позволять количественно характеризовать успешность управления.

Задача оценки эффективности системы с несколькими целями не является простой. Поэтому количество целей стараются свести к одной, используя дополнительные ограничения на выбираемые решения или другие способы. Если такая редукция сказывается на корректности получаемых результатов, то применяют методы оценки качества многоцелевых систем. Таких методов много, что определяется разнообразием систем управления.

Выбор удачного показателя, позволяющего судить об эффективности многоцелевой системы, зависит от того, насколько глубоко она изучена лицами, его определяющими. На все виды систем управления готовых рекомендаций по выбору критерия качества нет.

Во многих случаях общий показатель эффективности системы с несколькими нечеткими целями получают итеративно, принимая во внимание в каждом цикле только две из них. Поэтому задачу оценки качества рассмотрим на примере системы с двумя целями. Ее решение включает две части:

- выбор частных критериев эффективности системы по каждой цели и нахождение процедур определения их значений;
- расчет по частным показателям общего критерия (объединение оценок).

Касаясь первого вопроса, следует отметить, что цели системы могут быть количественными (четкими), и качественными (нечеткими). Чтобы иметь возможность численно оценивать общую эффективность системы с учетом нечетких целей, они должны быть сведены к количественным. Для этого используются разные приемы. В одних случаях эффективность системы по нечеткой цели устанавливается по вероятности ее достижения. В других об эффективности выбираемой стратегии судят по стратегии идеального решения задачи. Существуют и другие приемы, большинство из которых выбирается в зависимости от конкретной системы и ее особенностей.

Второй вопрос возникает из-за разнородности целей, неодинаковой их важности, особенностей задачи и других причин. Он может решаться разными способами. Во многих случаях они связаны с применением теории нечетких множеств, составной частью которой является теория вероятностей.

Представим два пути количественного определения успешности работы системы с двумя нечеткими целями.

Первый путь включает два этапа. На первом из них устанавливается степень принадлежности значений параметров (обозначим их χ_1 и χ_2), отражающих эффективность системы по первой и второй цели, к рациональным (или эффективным). Для такого определения на основе статистического материала или с помощью экспертов выбираются функции принадлежности (ФП) значений χ_1 и χ_2 к рациональным. Вид этих функций определяется особенностями системы. Например, ими могут быть зависимости, представленные на рис. 6.1.

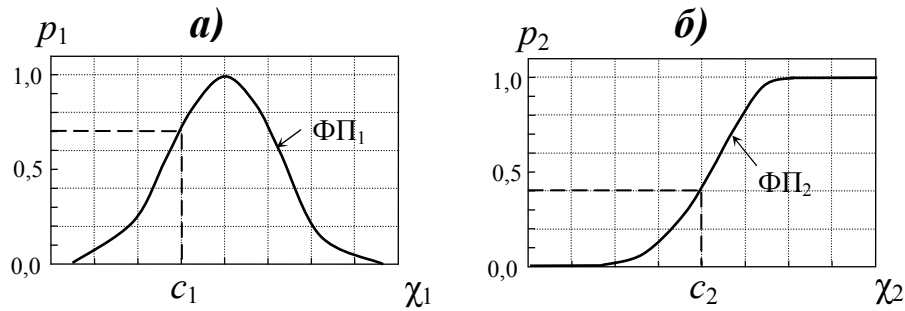


Рис. 6.1. Функции принадлежности к рациональным значениям

Если управляющее решение характеризуется значениями $\chi_1 = c_1$, $\chi_2 = c_2$, то согласно ФП на рис. 6.1 его эффективность по первой цели будет $p_1 = 0,7$, а по второй - $p_2 = 0,4$.

На втором этапе для получения общей оценки p_0 эффективности системы определяется функция объединения частных оценок

$$p_0 = F_0(p_1, p_2). \quad (6.1)$$

Она выбирается на основе тщательного анализа решаемой задачи и взаимосвязей ее целей. Распространенные функции объединения частных оценок качества приведены ниже:

$$p_0 = (p_1 + p_2)/2; \quad (6.2)$$

$$p_0 = \frac{w_1 \cdot p_1 + w_2 \cdot p_2}{w_1 + w_2}, \text{ где } w_1, w_2 - \text{ веса целей}; \quad (6.3)$$

$$p_0 = p_1 \cdot p_2; \quad (6.4)$$

$$p_0 = \text{MIN}(p_1, p_2). \quad (6.5)$$

$$p_0 = E(p_1 \cdot p_2) \frac{w_1 \cdot p_1 + w_2 \cdot p_2}{w_1 + w_2}, \text{ где } E(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0 \\ 1 & \text{при } x > 0 \end{cases}. \quad (6.6)$$

Второй путь формализации нечетких целей состоит на первом этапе в выделении термов в величинах χ_A и χ_B , характеризующих эффективность системы по отдельным целям, и в образовании ФП к этим термам [47]. Допустим, в первом параметре выделено 5 термов (табл. 6.1), принадлежность к которым значений параметра χ_A характеризуется ФП на рис. 6.2,а.

Таблица 6.1 – Названия термов первого параметра

Номер терма	Код терма	Название терма
1	НЛ	Неудовлетворительный левый
2	УЛ	Удовлетворительный левый
3	Р	Рациональный
4	УП	Удовлетворительный правый
5	НП	Неудовлетворительный правый

У второго параметра выделены три терма: *неудовлетворительных* (Н), *удовлетворительных* (У) и *рациональных* (Р) значений. Принадлежность значений параметра χ_B к этим термам отражается ФП на рис. 6.2,б.

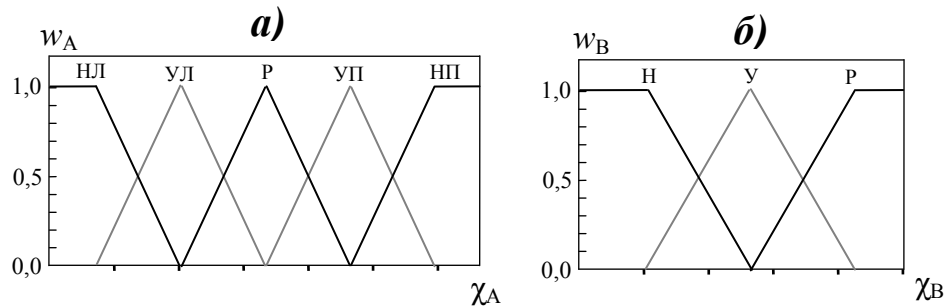


Рис. 6.2. Функции принадлежности к термам

Если при решении получены значения $\chi_A = c_A$, $\chi_B = c_B$, то по ФП (рис. 6.2) определяется их принадлежность к термам. В результате находятся две совокупности значений: $[w_{A1}, w_{A2}, w_{A3}]$ и $[w_{B1}, w_{B2}, \dots, w_{B5}]$.

На втором этапе находится общая оценка эффективности системы. Для этого используются соответствующие особенностям рассматриваемой задачи правила логического вывода. Предположим, они имеют вид, показанный в табл. 6.2.

Этими правилами в зависимости от термов входных величин определены 15 значений выходной величины (обозначим их p_{ij}). Степени w_{ij} принадлежности к ним искомого значения выходной величины находятся по определенной процедуре. Подходящей, например, может быть

$$w_{ij} = \text{MIN}(w_{Ai}, w_{Bj}). \quad (6.7)$$

Таблица 6.2 – Табличные значения p_{ij} степени эффективности решения

		Параметр χ_A				
		1. НЛ	2. УЛ	3. Р	4. УП	5. НП
Параметр χ_B	1. Н	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1
	2. У	0.2	0.5	0.7	0.6	0.3
	3. Р	0.3	0.7	1.0	0.8	0.4

Общая оценка эффективности p_0 рассчитывается с помощью той или иной процедуры вывода результата, например,

$$p_0 = \frac{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^8 w_{ij} p_{ij}}{\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^8 w_{ij}}. \quad (6.8)$$

Принципы выбора стратегий расхождения. Основным документом, которым руководствуются при предупреждении столкновений судов, является МППСС-72. Однако в этих правилах определены действия только для двух взаимно опасных судов. Относительно устранения угрозы столкновения с несколькими «целями» имеются рекомендации только общего характера.

Алгоритма, обеспечивающего синтез эффективной стратегии расхождения судов для всех встречаемых на практике ситуаций, не существует. Да и вряд ли он может быть, так как число образуемых судами и границами судоходной акватории ситуаций чрезвычайно велико и полной информации о них в СПС нет. Кроме того, в процессе расхождения могут возникнуть непредвиденные обстоятельства, правильная реакция на которые определяется многочисленными факторами. Информацию обо всех из них просто невозможно своевременно ввести в СПС.

Кроме положений МППСС-72, при выборе действий для расхождения учитывают местные правила, рекомендации хорошей морской практики и опыт вождения судов.

В автономном варианте основной находения мер для устранения угрозы столкновения является выделение *областей допустимых маневров* собственного судна [37], при которых расхождение возможно на дистанции, не меньшей заданной d^s . Если имеется хотя бы одна опасная «цель», то строятся области допустимых маневров по отношению к каждому встречному судну. Совокупная акватория Ω неопасных маневров СО определяется как пересечение (общая часть) областей допустимых действий, построенных по отдельным судам.

Если область Ω «пуста», то маневра устранения угрозы столкновения со всеми судами нет. Если эта область не является «пустой», то существует

бесконечное множество действий, приводящих к безопасному расхождению. Из этого множества требуется выбрать наилучший маневр, который отвечает МППСС-72 и при котором потери ходового времени минимальны. Такой маневр определяется с помощью подходящего математического метода поиска оптимальных решений.

Область недопустимых по отношению к «цели» действий называется *зоной ее опасности* (по рассматриваемому виду маневра СО).

Несмотря на кажущуюся простоту охарактеризованного подхода, его компьютерная реализация затруднена следующими обстоятельствами:

- зоны опасности для разных маневров расхождения неодинаковы по форме и принципу построения;
- для большинства маневров положение и форма зон зависит от времени, что затрудняет нахождение действий с началом в более поздний, чем текущий, момент времени;
- выбор маневра усложняется необходимостью учета инерционности собственного судна, возможных действий «целей», требований МППСС-72 и местных правил, рекомендаций хорошей морской практики.

Из-за этих особенностей задача определения стратегий расхождения с несколькими судами является весьма сложной. Для получения алгоритмов ее решения даже в частных случаях необходимыми оказались математические методы, выходящие за рамки инженерной подготовки (см. параграф 2.6).

6.2. Координатные системы для представления маневров судна

Для характеристики маневров судна оператора ниже используются прямоугольные координатные системы $\xi\zeta$, $xу$, $XУ$, $x'y'$. В первых трех системах (рис. 6.3) отражается движение судна относительно грунта, а в четвертой – относительно той или другой «цели».

Система координат $\xi\zeta$ ориентируется по курсу $K_{Ш}$, которым шло СО перед маневром. Начало этой системы связывается с местом инициации маневра (на рис. 6.3,а,б - точка A). Угол между направлением движения во время маневра и направлением оси $A\zeta$ обозначается θ , а угол между ДП судна и этой осью - $\bar{\theta}$. Время, отсчитываемое от начала маневра до какого-нибудь момента в процессе его осуществления, обозначается τ .

Координатная система $xу$ ориентируется по норду. Ее начало (рис. 6.3,б) находится в точке A . Угол между направлением хода в процессе маневра и осью $Aу$ является курсом судна относительно грунта K . Угол \bar{K} между этой осью и ДП судна – истинный курс.

Система $XУ$ ориентирована по норду. Начало O этой системы при ведении прокладки на ЭНК помещается в вершину юго-западного угла карты. Направления ДП и вектора скорости движения СО в системе $XУ$ такие же, как в $xу$.

Координатная система $x'y'$ ориентирована по меридиану и служит для отражения движения судна оператора относительно «цели».

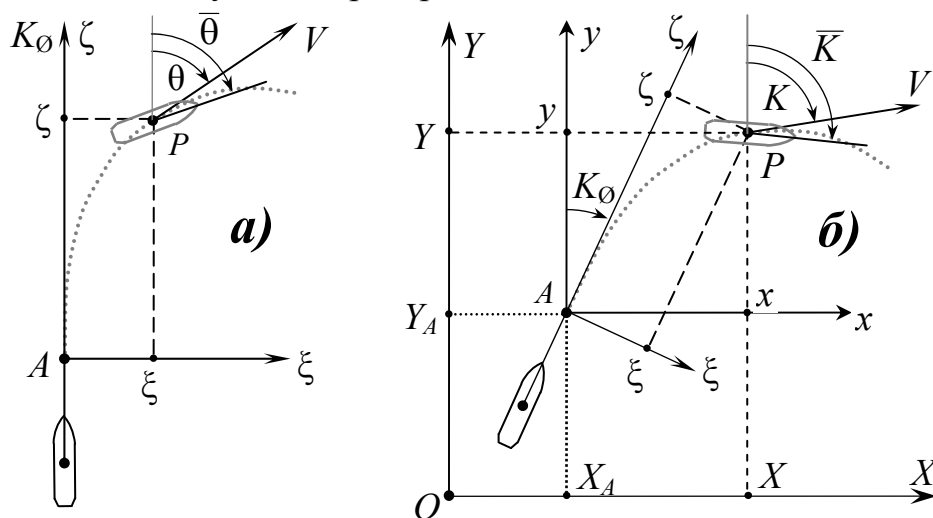


Рис. 6.3. Координатные системы для представления маневров

Один из вариантов перемещения СО и «цели» J в системах XU , $x'y'$ представлен на рис. 6.4, а, б, где обозначено:

$X_{ш}, Y_{ш}$ и $X_{лш}, Y_{лш}$ - координаты судна оператора и «цели» в системе XU в начальный момент времени;

X, Y и X_J, Y_J - координаты судна оператора и «цели» в системе XU в текущий момент времени;

K, V и K_J, V_J - курс, скорость СО и «цели» в системе XU в текущий момент времени;

$x'_{ш}, y'_{ш}$ и x', y' - координаты судна оператора в системе $x'y'$ в начальный и текущий моменты времени;

k, u - курс, скорость СО в системе $x'y'$ (относительный курс и скорость СО) в текущий момент времени;

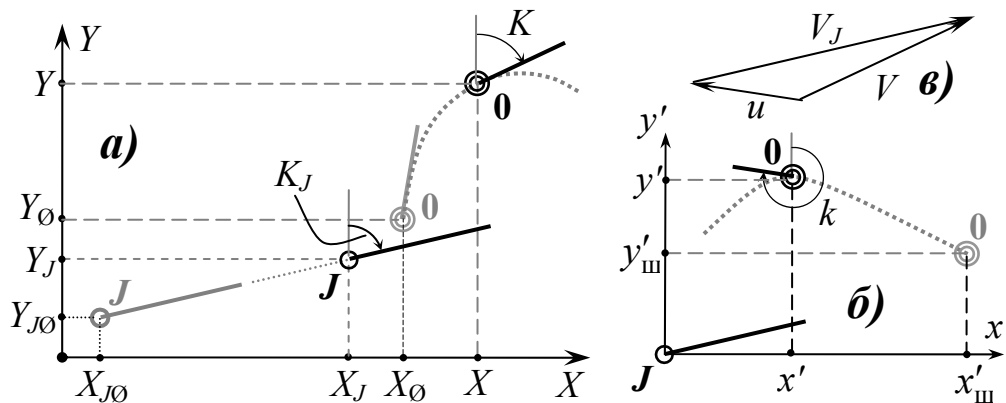


Рис. 6.4. Система координат $x'y'$ для отражения относительного движения

Зависимость координат разных систем. Если на какой-то момент времени τ в процессе маневра известны угол θ и координаты ξ, ζ положения судна, то в системах $xу$ и $XУ$ его позиция и курс будут следующими:

$$\left. \begin{aligned} x &= \xi \cdot \cos K_{III} + \zeta \cdot \sin K_{III} \\ y &= -\xi \cdot \sin K_{III} + \zeta \cdot \cos K_{III} \end{aligned} \right\}, \quad (6.9)$$

$$K = K_{III} + \theta, \quad (6.10)$$

$$\left. \begin{aligned} X &= X_A + x \\ Y &= Y_A + y \end{aligned} \right\}, \quad (6.11)$$

где X_A, Y_A - координаты начала системы $xу$ в системе $XУ$.

Координаты x', y' судна оператора относительно «цели» находятся по формулам

$$\left. \begin{aligned} x' &= X - X_J \\ y' &= Y - Y_J \end{aligned} \right\}. \quad (6.12)$$

Значения относительного курса k и скорости u получаются при решении «скоростного» треугольника (рис. 6.4,в)

$$\left. \begin{aligned} u_x &= V \cdot \sin K - V_J \cdot \sin K_J \\ u_y &= V \cdot \cos K - V_J \cdot \cos K_J \end{aligned} \right\},$$

$$\left. \begin{aligned} u &= \sqrt{u_x^2 + u_y^2} \\ k &= \arctg(u_x / u_y) \end{aligned} \right\}, \quad (6.13)$$

где u_x, u_y - составляющие скорости u , по осям x' и y' .

6.3. Модели для прогноза маневров судна оператора

Наличие на судне самых подробных стандартных маневренных характеристик не решает на практике вопроса быстрого и эффективного планирования процессов движения судна при различных управляющих воздействиях. Применение для прогноза маневров упрощенных алгебраических моделей [23] также не всегда отвечает требованиям предупреждения столкновений. Анализируя используемые для планирования маневров расхождения методы, можно сделать следующие выводы:

- традиционные способы обычно не отвечают по точности требованиям к судовождению в стесненных водах;
- модели прогноза маневров должны с достаточной точностью отражать динамику движения конкретного судна и учитывать его размеры;
- при планировании маневров необходимо учитывать алгоритмы изменения управляющих сигналов, в первую очередь это относится к изменению скорости хода;
- расчет прогнозов должен выполняться в реальном времени.

Имитационные математические модели управляемого движения судна. Имитационной обычно называется модель, отражающая протекание процессов в динамике. Обычно она используется для изучения относительно сложных зависимостей, с трудом поддающихся аналитическому анализу. Во многих системах управления такие модели применяются для прогноза результатов намечаемых действий.

В обобщенном варианте систему управления можно представить в виде трех частей: *управляющего устройства, средств управления и объекта управления.*

Средства управления по поступающим на их вход управляющим сигналам малой мощности вырабатывают силовое воздействие на объект управления. Если брать судно, то время такого преобразования сигнала управления настолько мало, что может не учитываться. Поэтому в задачах предупреждения столкновений из описания системы управления судном модель работы силовых средств можно исключить.

Экономными по числу параметров и обладающими широкими возможностями представления динамических процессов являются дифференциальные уравнения [9, 12, 26]. Однако их непосредственное применение при моделировании затруднено. Для прогноза процессов управления требуется знать решения этих уравнений при различных изменениях входных величин. Аналитически эти решения можно получить для весьма малого вида входных сигналов систем [12].

Наиболее эффективным средством для прогноза процессов являются **разностные модели** – процедуры численного с заданным шагом интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих работу системы. Эти имитационные модели относятся к классу дискретных. До недавних пор они не применялись при планировании маневров судна в СПС из-за того, что численное интегрирование требует большого числа расчетов и, даже возможностей компьютеров, было недостаточно, чтобы по таким моделям вырабатывать прогнозы в реальном времени.

В настоящее время системы взаимосвязанных нелинейных разностных уравнений позволяют адекватно моделировать как слабые, так и сильные маневры судов курсом и скоростью с ускорением порядка в 600÷1000 раз. Т.е. за одну секунду можно получить реализацию 10÷15-ти минутного маневра.

Блок-схема имитационной модели для прогнозирования изменения курса представлена на рис. 6.5. Входными данными модели являются:

$V_{Ш}$, $K_{Ш}$ - начальные курс и скорость судна оператора;
 θ - угол изменения курса;
 W_{θ} , P_{θ} - способ изменения курса и его параметр.

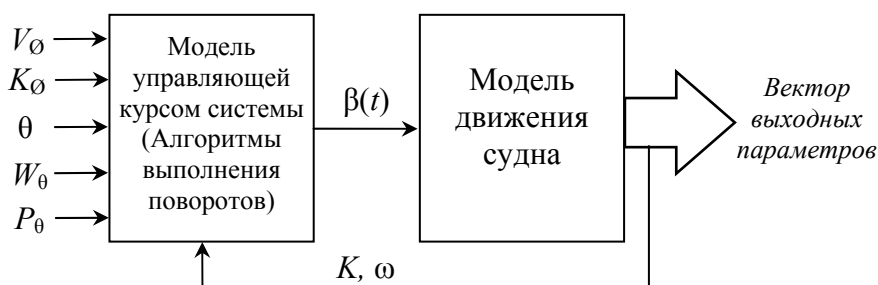


Рис. 6.5. Модель процессов изменения курса

Имитационной моделью судна служит разностная процедура для численного решения системы взаимосвязанных нелинейных уравнений [12], представляющих управляемое движение судна. В настоящее время методика создания таких моделей и их подгонки к конкретным судам хорошо отработана. Кроме того, в задаче предупреждения столкновений требования к этой модели значительно ниже, чем, например, в успешно решаемой на современном этапе задаче математического представления маневрирования судна в акваториях портов при различных гидрометеорологических условиях [9]. Для задачи расхождения пригодны довольно простые адекватные разностные модели, позволяющие выполнять прогнозы маневров в реальном времени.

Разностная модель является рекуррентным соотношением, описывающим элементарный цикл (длительностью Δ_t) динамического процесса. Она позволяет последовательно вычислять координаты его состояний через этот интервал времени. При использовании разностной модели для прогноза маневров в задаче расхождения вполне подходящим является шаг интегрирования $\Delta_t = 1$ с.

Процессы маневрирования судов обычно моделируют в координатной системе ξ , ζ . Вектор выходных параметров имитационной модели в этом случае включает:

- ξ , ζ - координаты судна в ориентированной по исходному курсу прямоугольной системе с началом в точке инициации поворота;
- θ , $\bar{\theta}$ - изменение курса относительно грунта и направления диаметральной плоскости судна;
- τ , S - отсчитываемые от начала поворота значения времени и пройденного расстояния;
- V , ω - значения линейной и угловой скорости судна.

Ряд из этих параметров представлен на рис. 6.6 для одной из точек (P) циркуляции, полученной по математической модели управляемого движения судна.

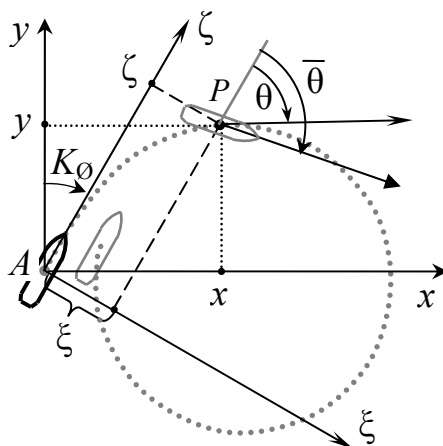


Рис. 6.6. Параметры движения судна

При необходимости по значениям ξ , ζ , θ , K_{θ} , X_A , Y_A находятся элементы движения в координатных системах $xу$, $XУ$,

В применяемых на практике алгоритмах выполнения поворотов используется принцип управления по отклонению. Для отражения этой особенности в модель управляющей системы по линии обратной связи подаются текущие значения угла и скорости изменения курса (θ , ω).

Реализуемые на практике способы поворотов приведены в табл. 6.3. Согласно требованиям резолюций ИМО А.822(19), 1995 г. и MSC 64(67), Приложение 3, 1996 г. авторулевые (АР) в режиме «Автомат» в пределах способности судна должны выполнять повороты первыми двумя способами (см. табл. 6.3). Алгоритмы этих поворотов рационально применить и в имитационной модели, показанной на рис. 6.5.

Третьим способом курс изменяется вручную рулевым. Для выполнения поворота ему подается команда переложить руль на определенный угол. В модели на рис. 6.5 такие повороты прогнозируются приближенно по алгоритму, отражающему в среднем процесс изменений курса опытными рулевыми.

Таблица 6.3. Виды изменения курса

№ пп	Способ поворота	Параметр
1.	С заданной угловой скоростью	ω_Z
2.	С заданным радиусом	R_Z
3.	С заданным углом руля	β_Z

При имитации маневра расхождения в СПС значения выходных параметров модели рассчитывается в ускоренном времени.

Блок-схема модели изменения скорости представлена на рис. 6.7, где W_V - способ изменения хода; $V_{\text{ИП}}$, V_M , V - исходное, заданное для отработки и текущее в моделируемом процессе значения скорости;

$U(V)$ - параметр органа управления (частота вращения ВФШ или угол поворота лопасти ВРШ или другой параметр), определяющий величину воздействия на судно.

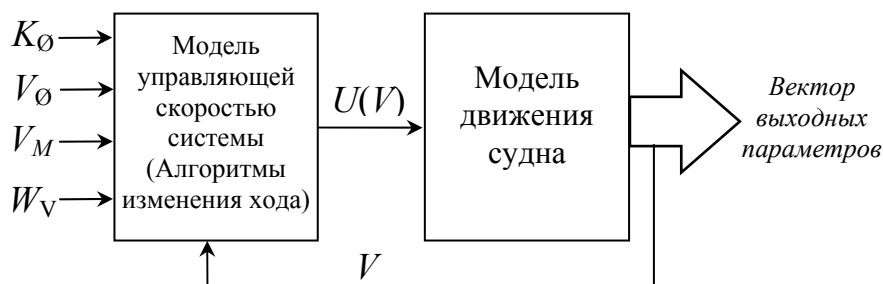


Рис. 6.7. Имитационная модель процессов изменения скорости

Модель управляющей скоростью системы в зависимости от V определяет (с учетом особенностей главной движительной установки) изменение значений силового воздействия, которое необходимо для перехода к новой скорости. Виды изменения хода приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4. Виды уменьшения скорости от $V_{Ш}$ до V_M

№	Способ уменьшения V
1.	Установка ГД в режим, соответствующий V_M
3.	Переход к V_M через «СТОП»
3.	Переход к V_M с использованием ЗМХ
4.	Переход к V_M с применением ЗСХ
5.	Переход к V_M с использованием ЗПХ

В имитационной модели судна с автоматизированной энергетической установкой упрощенно отражается алгоритм системы ДАУ. Если изменение хода выполняет человек, то в модели должна быть учтена последовательность его действий.

Для прогноза маневров скоростью и курсом рационально использовать одну имитационную модель движения судна. Изменение V в задачах расхождения моделируется с выполнением стабилизации курса.

Результатом прогнозирования маневров судна оператора в ускоренном времени по имитационным моделям являются массивы значений параметров, отражающих намечаемое перемещение во времени.

Они могут быть представлены в табличном виде (пример - табл. 6.5).

Траектория маневра курсом по таким данным может быть показана точками, например, как на рис. 6.8, где A - место начала поворота. По координатам x, y точки P_M конца маневра и величине изменения курса рассчитываются расстояния $S_{\theta 1}$ и $S_{\theta 2}$.

Таблица 6.5. Массивы значений выходных данных

τ , сек.	ξ	ζ	θ	$\bar{\theta}$	ω	V	S
0	0	0	θ_0	$\bar{\theta}_0$	0	V_0	0
1	ξ_1	ζ_1	θ_1	$\bar{\theta}_1$	ω_1	V_1	S_1
2	ξ_2	ζ_2	θ_2	$\bar{\theta}_2$	ω_2	V_2	S_2
...
i	ξ_i	ζ_i	θ_i	$\bar{\theta}_i$	ω_i	V_i	S_i
...
τ_M	ξ_M	ζ_M	θ_M	$\bar{\theta}_M$	ω_M	V_M	S_M



Рис. 6.8. Представление точками траектории ЦМ судна на повороте

Анализ математических моделей, используемых для прогноза маневров расхождения, позволяет сделать такие выводы:

- Наличие возможности прогнозирования траекторий различных маневров на электронной карте оказывает существенную помощь судоводителям при плавании в стесненных водах. Влияние субъективного фактора на точность и безопасность выполнения маневров в этом случае уменьшается.
- Наиболее точное предсказание маневров в различных условиях эксплуатации можно получить с помощью разностных имитационных моделей управляемого движения судов.
- Выбранная для целей планирования маневров на переходах разностная модель движения судна экономна по числу параметров и адекватно отражает процессы изменения курса и скорости.
- Результаты моделирования движения судов показали, что быстроедействие современных компьютерных средств является достаточным для выработки по имитационным моделям в реальном времени прогнозов маневров.

«Табличные модели» намечаемых маневров рассмотрим вначале для **изменений курса**. Как известно, траектория судна при циркуляции с одним

положением руля мало зависит от скорости судна. Кроме того, при расхождении повороты обычно выполняются с кладкой руля 15° или 30° . Такие особенности позволяют массивы полученных по разностной имитационной модели данных двух циркуляций с $\beta = 15^\circ$ и $\beta = 30^\circ$ (при одной скорости судна V_{T0}) использовать для расчета точек траекторий и параметров поворотов на разные углы при разной скорости. В результате, значения указанных величин можно получить гораздо быстрее, чем по имитационной модели.

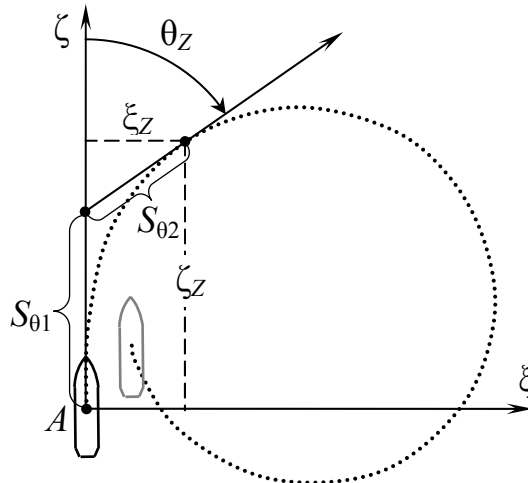


Рис. 6.9. К использованию данных «табличной модели»

Для реализации характеризуемого метода прогноза маневров курсом по разностной имитационной модели находятся значения параметров циркуляции судна в системе координат $\xi\zeta$ (рис. 6.9). Они упорядочиваются по углу поворота θ и хранятся в памяти (табл. 6.6).

Если задан угол поворота θ_Z , и начальная скорость судна равна V_{III} , то при расчете параметров траектории используется следующая методика.

Из таблицы по значению θ_Z выбираются значения ξ_Z , ζ_Z и τ_{TZ} . Время поворота при начальной скорости V_{III} находится по формуле

$$\tau_Z = \frac{V_{T0} \cdot \tau_{TZ}}{V_{III}}. \quad (6.14)$$

Расстояние S_{01} до путевой точки, на котором надо начать поворот, и дистанция S_{02} от нее точки выхода на новый курс рассчитываются так (см. рис. 6.9)

$$S_{01} \approx \zeta_Z - \xi_Z \cdot \text{ctg}\theta_Z, \quad S_{02} \approx \xi_Z / \sin\theta_Z. \quad (6.15)$$

Таблица 6.6. Массивы значений параметров циркуляции

при $V_{Ш} = V_{T0}$ и $\beta = 15^0$

θ^0	ξ	ζ	τ_T	V_T
0	0	0	0	V_{T0}
1	ξ_1	ζ_1	τ_{T1}	V_{T1}
2	ξ_2	ζ_2	τ_{T2}	V_{T2}
...
i	ξ_i	ζ_i	τ_{Ti}	V_{Ti}
...
360	ξ_{360}	ζ_{360}	τ_{T360}	V_{T360}

Координаты судна в процессе изменения курса, необходимые для отображения траектории на экране, получают по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_i &= X_A + \zeta_i \cdot \sin K_{Ш} + \xi_i \cdot \cos K_{Ш} \\ Y_i &= Y_A + \zeta_i \cdot \cos K_{Ш} - \xi_i \cdot \sin K_{Ш} \end{aligned} \right\}, \quad (6.16)$$

где X_A, Y_A - координаты начала поворота;

$K_{Ш}$ - курс судна до его изменения.

Значительный выигрыш во времени расчета (по сравнению с имитационными моделями) таблицы значений параметров процессов дают при прогнозировании *маневров скоростью*. Для нахождения реализаций изменения хода значения «табличных моделей» упорядочиваются по скорости от полного переднего маневренного (ППХ_М) до остановки (без работы ГДУ на задний ход и с использованием ЗМХ, ЗСХ, ЗПХ). Процесс торможения представляется в системе координат $\xi\zeta$, причем считается, что курс судна стабилизируется и совпадает с направлением оси $A\zeta$. Скорость дается с точностью до 0.1 узла.

Таблица 6.7. Массивы значений параметров торможения с ППХ_М работой ГДУ на ЗМХ

i	V, узл.	ξ	ζ	τ
0	$V_{ПП}-0 \times 0.1$	0	0	0
1	$V_{ПП}-1 \times 0.1$	0	ζ_1	τ_1
2	$V_{ПП}-2 \times 0.1$	0	ζ_2	τ_2
...
i	$V_{ПП}-i \times 0.1$	0	ζ_i	τ_i
...
n	$0 = V_{ПП}-n \times 0.1$	ξ_n	ζ_n	τ_n

Вид массива процесса торможения показан в табл. 6.7, где $V_{ПП}$ – скорость полного переднего хода маневренного; $n = 10 \cdot V_{ПП}$.

Координата ζ в этой таблице представляет расстояние торможения. Значения координаты ξ на судах с ВФШ отличается от нуля при снижении хода работой машины на задний ход с момента, когда руль становится неэффективным.

По таблице время τ_M и расстояние S_M торможения от скорости V_{z1} до скорости V_{z2} можно найти по формулам

$$\tau_M \approx \tau_{z2} - \tau_{z1}, \quad S_M \approx \zeta_{z2} - \zeta_{z1}. \quad (6.17)$$

Координаты начальной и конечной точки (если надо, и промежуточных точек) участка изменения скорости получают по формулам (6.9).

6.4. Принцип определение критерия эффективности маневров расхождения

Маневр для устранения угрозы столкновения должен быть *безопасным, экономичным и не противоречить МППСС-72*. Показатель эффективности маневра следует выбирать таким, чтобы он количественно отражал степень соответствия маневра названным требованиям. Как и в других задачах с несколькими целями, определение эффективности расхождения включает нахождение частных критериев, а затем их объединение в общий показатель. Для оценки эффективности планируемых для предупреждения столкновений действий предложены разные способы [23, 35, 37, 41, 46, 47].

Ниже характеризуется вариант решения этой задачи, основанный на применении нечеткой логики. Преимущества использования нечетких моделей заключается в простоте количественной оценки с их помощью эффективности систем с качественными целями. Нечеткие модели могут рассматриваться как мост между двумя подходами – количественным и качественным моделированием, и являются наиболее приемлемыми для описания слабо формализованных процессов и для решения задач, которые считаются нетипичными для классической теории управления. К таким задачам относится и расхождение судов в море. Обычно нечеткие правила, используемые при решении задач управления в прикладных областях, *отражают знания и опыт специалистов*.

При оценке эффективности маневра расхождения на первом этапе выбираются частные показатели успешности этого действия: *критерий безопасности, критерий экономичности и критерий соответствия МППСС-72*.

Критерием безопасности намечаемого уклонения можно взять степень p_d принадлежности к рациональной границе d^{SR} минимального расстояния \vec{d}_{min} до «целей» и навигационных препятствий. Функцию принадлежности к

d^{sr} дистанции \vec{d}_{min} , получаемой при прогнозе конкретной стратегии, можно выбрать в виде, показанном на рис. 6.10, где 0,1 – порог различения;

\bar{d}_{min} , \bar{d}^s - нормированные значения \vec{d}_{min} и наименьшего допустимого расстояния кратчайшего сближения \vec{d}^s ($\bar{d} = d / d^{sr}$).

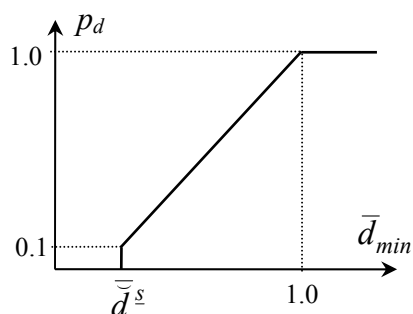


Рис. 6.10. ФП к рациональной дистанции расхождения

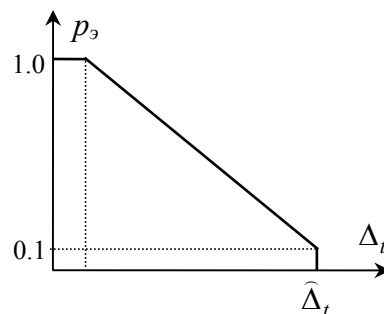


Рис. 6.11. ФП к экономичным маневрам

По этой функции находится значение критерия p_d в зависимости от дистанции \vec{d}_{min} , соответствующей прогнозируемому маневру расхождения.

Показателем экономичности маневра расхождения обычно служит величина потерь Δ_t ходового времени. В Δ_t при маневре курсом включаются потери из-за отклонения от намеченного маршрута перехода и возвращения к нему. Для маневра скоростью учитываются потери ходового времени, возникающие при уменьшении хода, при движении сниженной скоростью и при ее увеличении до исходного значения.

По Δ_t с помощью специально подобранной ФП (пример на рис. 6.11) определяется степень $p_э$ экономичности маневра. На этом рисунке $\hat{\Delta}_t$ - предел потерь ходового времени, после которого планируемое действие считается неэкономичным. Эта граница у маневров курсом и скоростью разная. Для маневров курсом значение $\hat{\Delta}_t$ зависит от скорости судна. С уменьшением хода оно увеличивается.

Экономичность маневра оценивается и другими показателями. Например, иногда маневр курсом считается рациональным, когда боковое отклонение от линии пути при расхождении является минимальным.

При дальнейшем рассмотрении критерием экономичности маневра считается величина потерь ходового времени.

Критерий соответствия МППСС-72 служит для оценки маневра по отношению к главной «цели». Принцип выполнения этой операции характеризуется на примере изменения курса для расхождения в открытом море и в прибрежных водах. Показатель качества этого маневра должен отразить его соответствие МППСС-72 по величине (*заметности,*

уверенности), своевременности и направлению уклонения в разных образованных судами ситуациях.

Критерием «заметности» маневра курсом может быть степень $P_{и}$ принадлежности уклонения θ к рациональному θ^r значению в данных условиях плавания. В открытом море и в прибрежных водах при нормальной видимости рациональным считается отворот порядка на 40^0 , хотя в этих условиях изменение курса на $10\div 15^0$ уже может быть различимо. В стесненной обстановке (в узкости, на фарватере), когда навигационные препятствия ограничивают движение, рациональным может быть и изменение курса 10^0 . Значение θ^r зависит не только от района плавания, но и от вида ситуации сближения судов (с учетом состояния видимости), степени опасности главного судна, стороны отворота. Если, например, первые три фактора рассматривать как лингвистические переменные R^* , A_{JH}^* , C_{JH}^* (см. табл. 5.1), то их можно учесть с помощью редуционного коэффициента μ , позволяющего по выбранному базовому значению i^b находить отвечающее действительным условиям значение θ^r

$$\theta^r = \mu \cdot \theta^b.$$

Базовое значение i^b можно брать разным. Примем, что $i^b = 40^0$.

Значения коэффициента μ для судна оператора определяются экспертами в зависимости от R^* , A_{0H}^* , C_{0H}^* , где 0 и H в индексе - соответственно номера судна оператора и главной цели. Например, для отдельных термов R^* эта зависимость может быть представлена табл. 6.8.

Таблица 6.8 – Значения μ для расчета θ^r при $R^* = R^{*1}$

C_{0H}^{*N}	Поворот	A_{0H}^{*N}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.Потенциально опасное;	Влево	μ	μ_{11}	μ_{12}	μ_{13}	μ_{14}	μ_{15}	μ_{16}	μ_{17}	μ_{18}	μ_{19}
4.Опасное 1-ой степени	Вправо	μ	μ_{21}	μ_{22}	μ_{23}	μ_{24}	μ_{25}	μ_{26}	μ_{27}	μ_{28}	μ_{29}
5.Опасное 2-ой степени	Влево	μ	μ_{31}	μ_{32}	μ_{33}	μ_{34}	μ_{35}	μ_{36}	μ_{37}	μ_{38}	μ_{39}
	Вправо	μ	μ_{41}	μ_{42}	μ_{43}	μ_{44}	μ_{45}	μ_{46}	μ_{47}	μ_{48}	μ_{49}

Охарактеризуем принцип назначения μ для двух ситуации сближения.

В ситуации 4 (пересечение курсов, «цель» H справа), значение μ_{24} коэффициента μ при отвороте вправо берется равным единице, так $i^r = i^b$ отвечает этим условиям. При отвороте влево следует принимать во внимание, что Правилем 15 рекомендуется, если позволяют обстоятельства, избегать пересечения курса «цели» по носу. Это положение можно учесть, взяв μ больше единицы, например, $\mu_{14} = 1.3$.

В ситуации 5, когда два судна идут прямо или почти прямо друг на друга, они должны изменить свой курс вправо с тем, чтобы каждое из них прошло у другого по левому борту (Правило 14). В этом случае поворот влево запрещен, поэтому $m_{15} = 0.0$, а $m_{25} = 1.0$.

При ограниченной видимости значение рационального угла отворота принимается большим, чем при нормальной. В этих условиях значение μ берется порядка 1.5.

Также μ увеличивается при второй степени опасности судна H ($C_{0H}^{*N} = 5$) для расхождения на участке, на котором действия судов уже не являются заблаговременными.

Для определения степени p_θ «заметности» изменения θ курса с учетом его стороны используется функция принадлежности θ к θ^r . Например, она может быть выбрана в виде, показанном на рис. 6.12.

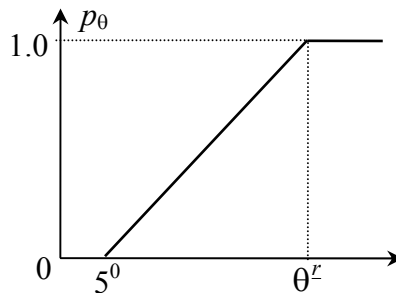


Рис. 6.12. ФП к рациональным углам поворота

При оценке «заблаговременности» маневра исходят из следующих соображений. Так как на разных судах выбранные значения t^s и t^l отличаются, то рациональным моментом начала выполнения маневра на непривилегированном судне считают середину интервала заблаговременных мер:

$$t^r = (t^s + t^l)/2.$$

Степень p_t рациональности действий с началом в моменты $\vec{t} > t^r$ меньше, так как с увеличением \vec{t} растут погрешности расчета ДСРА, и повышается вероятность маневров «целей».

Когда $\vec{t} < t^r$, эффективность маневра снижается из-за увеличения риска столкновения с уменьшением ТСРА, необходимости выбора больших углов отворота (сопровождается увеличением потерь ходового времени), и из-за роста вероятности, что встречное судно посчитает судно оператора не выполняющим своевременно своих обязанностей по расхождению.

На основе этого, функции принадлежности маневра соответственно непривилегированного и привилегированного судна к рациональным по времени действиям можно выбрать в виде, показанном на рис. 6.13,а и б, где $\bar{t} = \vec{t} / t^{sr}$ - нормированное значение ТСРА.

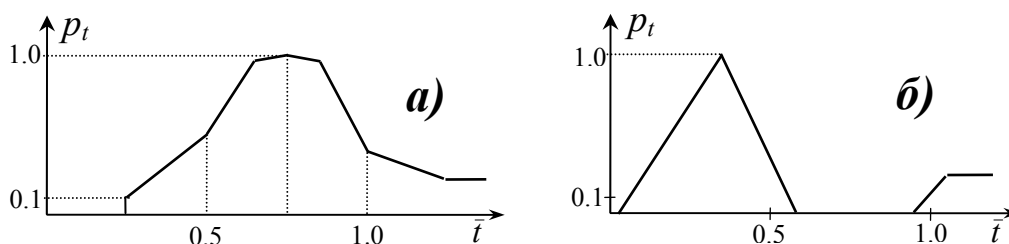


Рис. 6.13. ФП к рациональным по времени маневрам

Оценка p_c соответствия маневра МППСС-72 по значениям p_θ , p_t может быть получена, например, по формуле (6.5) или (6.4).

Общий критерий p_0 должен объективно отразить успешность намечаемого действия. Например, он может быть представлен выражением

$$p_0 = E(p_d \cdot p_\varepsilon \cdot p_c) \frac{w_1 \cdot p_d + w_2 \cdot p_\varepsilon + w_3 \cdot p_c}{w_1 + w_2 + w_3}, \quad (6.18)$$

где w_1, w_2, w_3 - веса целей;

$$E(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0 \\ 1 & \text{при } x > 0 \end{cases} \text{ - единичная ступенчатая функция.}$$

Значения весовых множителей зависят от интервала во времени кратчайшего сближения, в котором начинается выполнение маневра.

Когда $p_0 = 0$, маневр опасен или выполнять его нет смысла. Для детального анализа успешности планируемого для расхождения действия СПС должна предоставлять судоводителю возможность просматривать не только общий, но и частные показатели эффективности.

Отметим, что выше охарактеризован с опущением деталей только один из возможных путей оценки эффективности маневров расхождения, который не исключает наличия других вариантов решения.

6.5. Методика выбора маневров расхождения в режиме диалога с СПС

Традиционные методы определения действий по расхождению в режиме диалога с СПС достаточно полно отражены в литературе [3, 17, 23, 32]. В этом параграфе в общих чертах представлен альтернативный подход к решению этой задачи. Он базируется на применении изобразительных моделей ситуаций, образованных судами и границами судоходной акватории. Детали рассматриваемой методики освещаются в главах 7-9.

Альтернативная методика выбора маневров расхождения в режиме диалога с СПС предполагает:

- выделение типичного вида расхождения (ниже им считается В-маневр);

- определение процедуры расчета и отображения МТКС «цели» с судном оператора (см. параграф 5.7);
- разработку алгоритма получения меток ограничений, накладываемых на В-маневр судна оператора лимитирующими «целями».

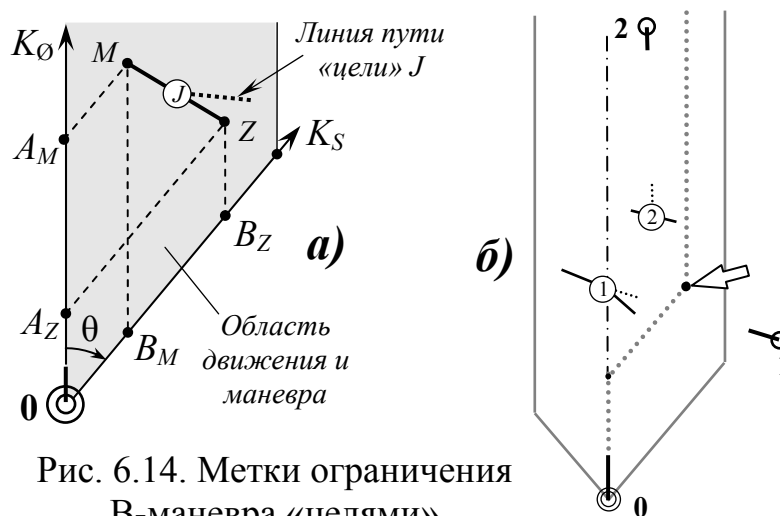


Рис. 6.14. Метки ограничения В-маневра «целями»

Простым ограничителем «цели» на В-маневр с заданным углом θ является отрезок MZ (рис. 6.14,а). Он определяется координатами A_M , A_Z , B_M , B_Z . Первые две из них отмечают на линии пути СО точки, в которых изменение курса на угол θ приводит к расхождению с СЦ на дистанции d^s . На такой же дистанции суда пройдут друг от друга, когда возвращение с линии уклонения к прежнему курсу проведено в точках B_M , B_Z .

Сокращенно метка ограничения В-маневра СО «целью» J обозначается $МОМ_J$. Если такая метка пересекается линией пути судна оператора, то «цель» J опасна. С помощью меток в ОДМ находятся параметры В-маневра, при которых он соответствует требованиям расхождения. В характеризуемой методике выбора действий для предупреждения столкновения исходная область движения и маневра, в которой ищется маневр, обозначается $ОДМ_0$.

Намечаемый В-маневр безопасен, если ни одну из меток его ограничения не пересекает линия пути судна оператора. На рис. 6.14,б характеризуется принцип прогнозирования В-маневра курсором для уклонения от двух «целей».

Когда В-маневр с разными углами θ из допустимого диапазона не дает решения или оно неудовлетворительно, подключается выбор для расхождения маневров других видов. Из этих действий ниже рассматривается циркуляция и изменение скорости хода.

Методика планирования одного маневра. При выборе в СПС В-маневра, циркуляции, изменения V должна обеспечиваться простота их задания и наглядность прогноза ожидаемых результатов выполнения. Для возможности такого прогноза в СПС вводятся значения параметров, которые позволяют рассчитать траекторию движения судна при маневре. Перечень

таких параметров и пример их возможных значений для анализируемых видов действий по расхождению приведен в табл. 6.9, где РРД – режим работы двигателя для перехода к новому значению скорости.

Таблица 6.9. – Данные для прогноза маневров

В-маневр		Циркуляция	Изменение V	
Уклонение (θ^0)	Руль (β^0)	Руль (β^0)	ΔV , узл	РРД
40	15	15	-5,5	ЗМХ

При прогнозе маневров, кроме этих данных, используются значения исходной скорости и курса судна оператора, а также элементы движения «целей». Последние считаются неизменными во времени.

Для оценки безопасности намечаемой циркуляции или изменения V на экране образуется дополнительная область движения и маневра (ОДМ₁), опорная точка которой находится в месте окончания рассматриваемого маневра (см. рис. 6.16,б,в). При планировании В-маневра по меткам накладываемых на него «целями» ограничений в образовании дополнительной ОДМ нет необходимости (см. рис. 6.16,а).

В ОДМ₁, используемой при выборе циркуляции и маневра скоростью, по прогнозируемым на момент окончания маневра значениям координат СО и СЦ строятся графические элементы, позволяющие оценить опасность ситуации после маневра. В качестве этих элементов можно выбрать либо охарактеризованные в параграфе 5.7 метки точек кратчайшего сближения «целей» (МТКС) или метки МОМ.

Представление ситуации первыми элементами, которые по размеру короче МОМ, меньше загромождает экран. Но такой вид отображения не обеспечивает простоты выбора В-маневров. МТКС применяются, когда после намечаемого маневра (циркуляции или изменения V) не требуется дополнительных действий для предупреждения столкновения. Если это необходимо, лучше использовать МОМ, по которым можно определить, какой В-маневр следует применить после первого действия.

Как известно, эффективный диалог оператора с компьютерной системой обеспечивается организацией удобного пользовательского интерфейса и применением курсора для выбора необходимых функций, ввода команд и данных. Соответственно, такой подход может быть применен и при нахождении маневров судна оператора в области его движения и маневра.

Чтобы иметь возможность без применения разных режимов отображения ситуации намечать рассматриваемые 3 вида маневров, в ОДМ выделяются поля для прогноза этих действий курсором (рис. 6.15). Им указывается в ОДМ точка, определяющая начало маневра.

Для В-маневра такой точкой считается F (рис. 6.16,а) – место пересечения линий курса уклонения и нового курса, параллельного курсу до маневра. При движении курсора в поле В-маневра соответствующий вариант этого действия (на рисунке начало маневра – точка A , конец – C) отображается на ЭНК.

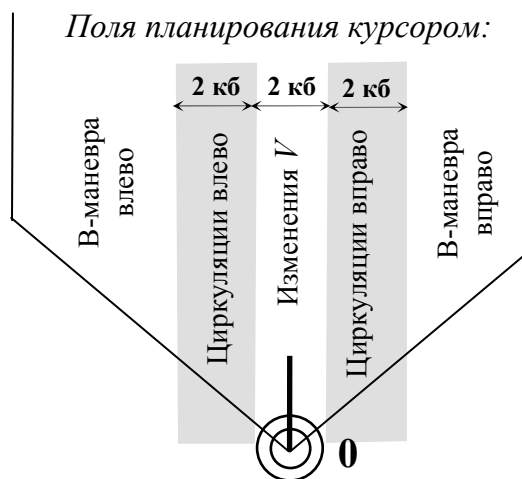


Рис. 6.15. Поля для задания маневров курсором

Криволинейные участки траектории перемещения при маневре и время их прохождения, зависящие от скорости V судна, заданных значений углов уклонения θ и перекладки руля β (см. табл. 6.9), находятся с помощью имитационной модели движения судна. Отметим, что торцевые границы ОДМ при выборе В-маневра составляют с линией пути СО угол, равный назначенному углу уклонения θ .

Если при заданных θ , d^s приемлемого варианта нет, СПС должна обеспечивать возможность поиска В-маневра при других значениях этих параметров.

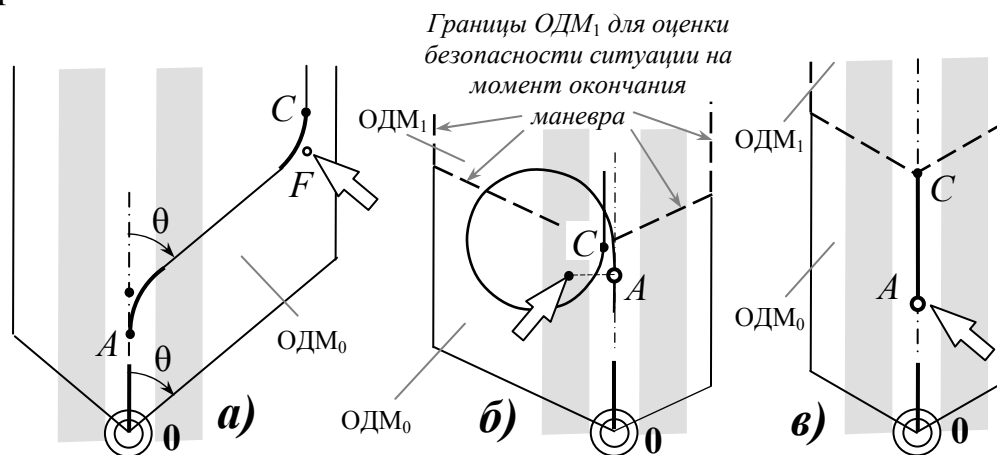


Рис. 6.16. Принцип планирования маневров курсором

Подробно В-маневры, метки накладываемых на них «целями» ограничений, и выбор этого действия для устранения угрозы столкновения характеризуются в главе 7.

При планировании **циркуляции** курсором указывается ее начало в соответствующем поле $ОДМ_0$ (рис. 6.16,б). На ЭНК циркуляция отображается своими точками. Координаты этих точек, время и значения других параметров циркуляции вычисляются по математической модели

движения судна. Исходными при расчете являются заданный угол перекладки руля β , начальные курс K_{III} и скорость V_{III} судна оператора.




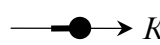


По меткам в ОДМ₁ с опорной точкой в позиции СО на момент окончания маневра оценивается его безопасность. Подробно устранение угрозы столкновения с помощью циркуляции описано в *главе 8*.

При выборе для расхождения **изменения скорости** в соответствующем этому действию поле ОДМ₀ (рис. 6.16,в) перемещается курсор, указывающий место начала маневра. По меткам в ОДМ₁, отвечающей моменту окончания маневра, оценивается его безопасность. Приемлемое начало маневра выбирается на основе анализа ситуации в ОДМ₁ при разных положениях курсора. Время изменения V и проходимое за это время расстояние рассчитываются по математической модели судна с учетом его начальной скорости, ΔV и РРД (см. табл. 6.9). В СПС должна быть возможность задавать разные значения изменения V и режима работы главного двигателя для перехода к новой скорости движения. Подробно применение маневра скоростью освещаются в *главе 9*.

При окончательном определении с помощью охарактеризованной методики вида маневра, его начала и значений параметров, он **включается в план расхождения**.

Предельное место начала манера. Для удобства выбора маневра на линии будущего пути СО наносится символ, отмечающий точку, после которой инициация этого маневра уже не приводит к расхождению с главной «целью» на безопасной дистанции. Возможные символы для обозначения предельных точек маневров представлены в табл. 6.10.

Таблица 6.10. – Условные обозначения предельных точек начала маневра

Обозначение	Маневр	Обозначение	Маневр
	В-маневр влево		Циркуляция вправо
	В-маневр вправо		Уменьшение V
	Циркуляция влево		Увеличение V

Планирование двух и большего числа последовательных действий. Когда первый намеченный маневр введен в план движения, в соответствующей времени его окончания ОДМ₁ может планироваться второе действие для уклонения от «целей», с которыми ожидается опасное сближение после выполнения первого маневра.

Второй маневр выбирается и вносится в план расхождения так же, как и первый. Аналогично первому и второму действию, может намечаться третий и последующие маневры.

Следует заметить, что с ростом времени прогноза, на основе которого выбираются действия для расхождения, его точность ухудшается из-за погрешностей в определении элементов движения «целей», а также факторов (ветер, течение, волнение), влияние которых полностью учесть невозможно. Модели, по которым прогнозируются маневры судна, также отражают

действительное его движение с погрешностями. Как следствие, **нет смысла формировать стратегию расхождения, превышающую по времени глубину прогноза процесса движения судов**, т.е. интервала времени, в котором погрешности прогноза остаются допустимыми. Поэтому **намечать сразу для расхождения более двух, максимум трех, последовательных маневров вряд ли можно считать целесообразным**.

Методика планирования стратегий для устранения угрозы столкновения должна предусматривать, что каждая находящаяся в зоне обзора «цель» может в любой момент изменить элементы своего движения. Кроме того, могут быть обнаружены дополнительные препятствия движению, в том числе на небольшой дистанции малые суда. Появление таких событий резко снижает эффективность намеченных для предупреждения столкновений действий. Поэтому планирование расхождения должно быть **адаптивным**, т.е. обеспечивающим возможность корректировки действий в реальном времени с учетом того, что новое событие может привести к модификации выбранного ранее плана или к полному его изменению.

Представленная методика выбора плана действий характеризуется на примере в ситуации, показанной на рис. 6.17. Считается, что при расхождении судно оператора не должно выходить за пределы отмеченной на рисунке области движения и маневра.

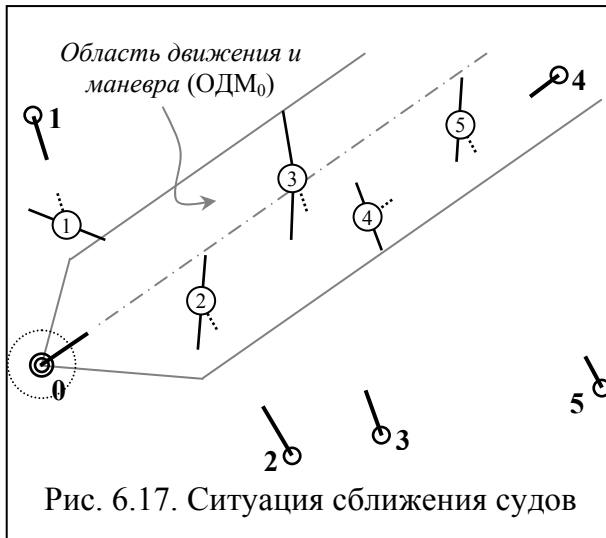


Рис. 6.17. Ситуация сближения судов

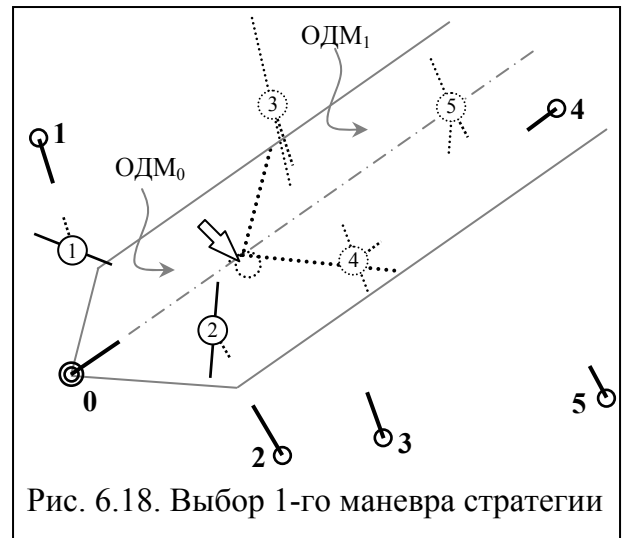


Рис. 6.18. Выбор 1-го маневра стратегии

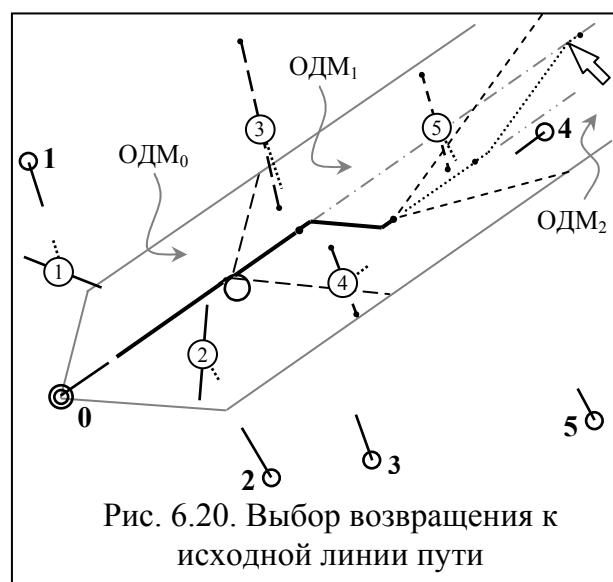
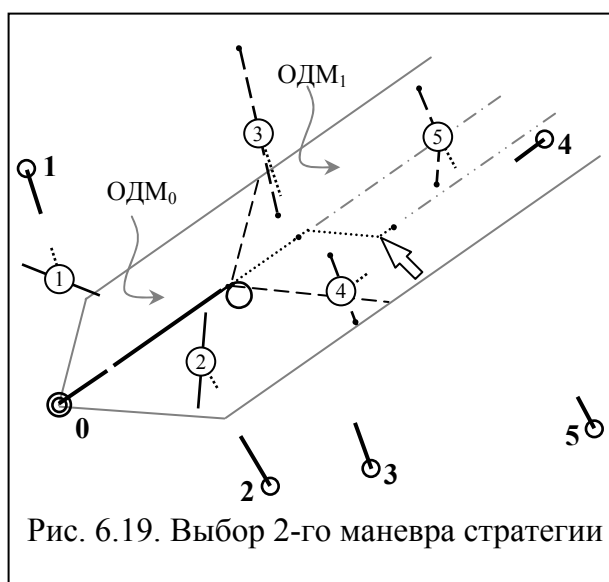
Для облегчения оценки ситуации и выбора действий по расхождению в этой области формируются метки ограничений «целей» на В-маневр с углом уклонения 40^0 от исходного курса вправо и влево. Представленные метки соответствуют заданной ДСПА (характеризуется точечной окружностью с центром в места судна оператора). Метки ограничений обозначены в кружочках номерами «целей», вызвавших эти ограничения. Опасной в рассматриваемой ситуации является «цель» №3, так как ее метка находится на линии пути судна оператора.

Допустим, в качестве маневра расхождения с опасной «целью» выбирается циркуляция вправо с углом перекладки руля 15^0 . Для этого

курсор перемещается в поле (см. рис. 6.15) для ее выбора. В ОДМ₁ со скользящим в соответствии с движением курсора началом, отображаются метки ограничения В-маневра (рис. 6.18). Они характеризуют ситуацию после маневра. Вместо MOM могут использоваться МТКС.

Если инициировать циркуляцию до пересечения судном оператора линии курса «цели» №2, то она станет опасной. Поэтому начало маневра выбирается после пересечения курса «цели» №2 по носу. По MOM в ОДМ₁ устанавливается, что после циркуляции «цель» №3 не представляет угрозы, так как ее метка смещается с линии пути СО. Однако «цель» №5 оказывается опасной по *d*-критерию.

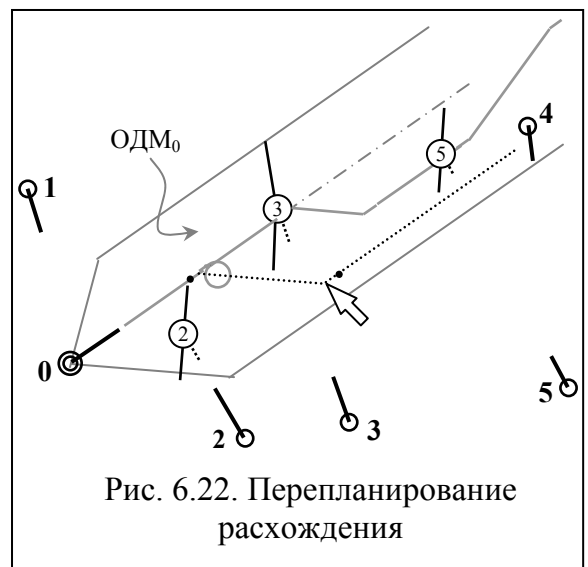
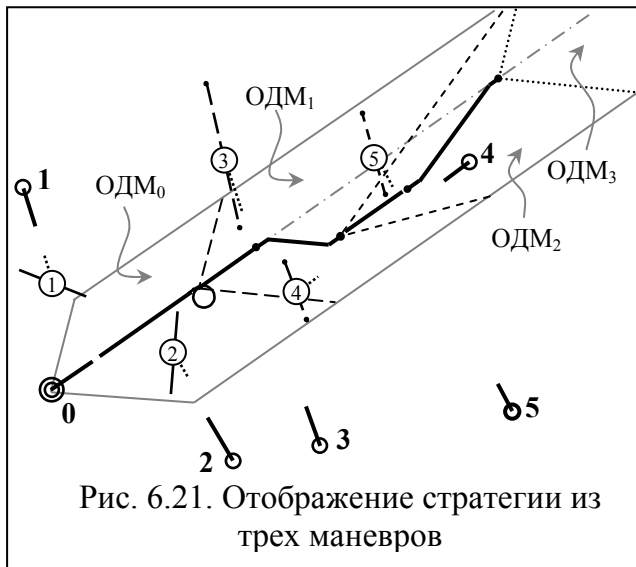
Так как после маневра до опасного сближения с «целью» №5 достаточно времени, циркуляция с началом в месте курсора вносится в план движения. Соответствующая этому плану траектория СО представлена на рис. 6.19 жирной линией, а торцевые границы ОДМ₁ и MOM_J - длинными штрихами. Опорная точка ОДМ₁ и MOM неподвижны на ЭНК.



После выбора первого маневра курсором планируется В-маневр для устранения угрозы столкновения с «целью» №5. Так как отрезок уклонения соответствующего месту курсора и линия нового пути после него не пересекают меток «целей», то расхождение будет безопасным. Второй маневр вносится в план расхождения (рис. 6.20) и в точке его окончания образуется ОДМ₂ для выбора следующего действия.

Так как больше представляющих угрозу «целей» нет, планируется В-маневр с углом уклонения 20° для возвращения к исходной линии пути.

По меткам в образованной ОДМ₂ оценивается безопасность ситуации после намечаемого курсором действия. При ее удовлетворительности третий маневр вносится в стратегию расхождения, а на момент его окончания образуется ОДМ₃ для планирования следующего действия (рис.6.21). Соответствующая конечному плану траектория движения СО представлена на рис. 6.21 жирной линией.



Для обеспечения адаптивности планирования предоставляется возможность изменения намеченных действий по расхождению. При переходе для внесения корректив в $ОДМ_j$ следующие за ней области не отображаются. Когда в $ОДМ_j$ вводится измененный маневр, то прежнее в этой области действие и следующие за ним в других областях маневры исключаются из стратегии расхождения. Так например, на рис. 6.22 для случая, когда «цель» №4 изменила курс и перестала ограничивать В-маневр судна оператора, перешли в $ОДМ_0$. В этой области вместо запланированной стратегии расхождения стали намечать курсором одно действие (В-маневр) для уклонения от «целей» №3 и №5. После занесения его в план расхождения прежняя стратегия удаляется.

6.6. Пути получение решений в интеллектуальных СПС

В теории управления имеется ряд задач, для решения которых неприемлемы традиционные методы, так как:

- не все цели управления объектом являются количественными;
- между рядом параметров, оказывающих влияние на процесс управления, не удается установить точных зависимостей;
- если стратегия управления включает несколько шагов, содержание каждого из них не может быть заранее однозначно определено;
- аналитические способы описания объектов и протекающих в них процессов приводят к громоздким конструкциям, затрудняющим их практическое использование.

К таким задачам относится и расхождение с несколькими судами, характеризуемое громадным числом ситуаций, образуемых судами и границами судоходной акватории, а также неполной предсказуемостью. Она - следствие случайных воздействий среды на движение судов, погрешностей проводимых ими измерений, неодинаковой оценки ситуации судоводителями

из-за нечеткости МППСС-72 и отличий используемой ими информации, невозможности точного предсказания намерений других судов и вероятностью их ошибочных действий.

Применение аналитического описания таких систем не принесло успехов, какие были достигнуты в управлении техническими системами. Причиной этого является участие в контуре управления (принятия решений) интеллекта человека, который оперирует, как правило, качественными оценками процесса и формирует управляющие воздействия на основе эвристических правил.

Это привело к выделению класса слабо формализованных процессов, которые ранее считались нетипичными для классической теории управления. Для управления ими стали применяться методы теории искусственного интеллекта, отличающиеся от классических методов автоматического регулирования. К интеллектуальным относятся, например, системы, в которых применяется нечеткая логика и нейронные сети.

При выборе управляющих воздействий в интеллектуальных системах применяют два подхода:

- основанный на правилах (RBR - rule-based reasoning);
- базирующийся на прецедентах (CBR - case-based reasoning).

Системы, основанные на правилах. В большинстве интеллектуальных СПС для представления знаний используются продукционные модели. В них совокупность правил «Если А, то В» обеспечивает формальный способ отображения требований МППСС-72, рекомендаций хорошей морской практики, опыта судоводителей. Основанные на правилах СПС принадлежат к классу продукционных систем. Эти системы поддерживают пошаговый поиск стратегий управления. В них при выводе решений используются *рассуждения по правилам* (RBR) - метод формирования умозаключений, опирающийся на логический вывод от исходных посылок (логические рассуждения).

Процедура логического вывода в продукционных системах в принципе не сложная. Нахождение решения по управлению представляет либо цепочку умозаключений, либо сопоставление возможных стратегий достижения цели. Так, формализация представленной в параграфе 6.5 методики выбора маневров расхождения и нахождения оценок их эффективности приводит к основанному на правилах автоматическому пошаговому поиску стратегий предупреждения столкновений. Пример такого поиска представлен в параграфе 7.6.

Базирующийся на правилах вывод решений в СПС обычно используется для поиска стратегий расхождения на интервале заблаговременных мер.

Системы, основанные на прецедентах. CBR-системы хранят успешные решения рассматриваемых задач в специальной библиотеке. Такое решение называется *case* (пример, прецедент, образец), а их библиотека – базой прецедентов. При появлении новой задачи ее решение находят с помощью рассуждений, базирующихся на подобных образцах из библиотеки.

Рассуждения по прецедентам (СВР) - это метод формирования умозаключений, опирающийся не на логический вывод от исходных посылок, а на анализ формирования подобных умозаключений в прошлом и адаптацию их к новым условиям.

Применение СВР для решения задач оправдано в случае выполнения следующих условий:

- Подобные задачи должны иметь подобные решения (принцип регулярности). В этом случае накопленный опыт может служить отправной точкой решения новых задач.
- Задачи должны иметь тенденцию к повторению. Это гарантирует, что для возникающих проблем будет существовать аналог в прошлом опыте.

Нахождение решений с помощью прецедентов в общем случае представляет собой циклический процесс, каждый цикл которого включает:

1. *Поиск похожего(их) прецедента(ов)*, наиболее близкого(их) по постановке к подлежащей выполнению задаче.
2. *Адаптацию*, состоящую в приспособлении стратегий похожих прецедентов к решению новой задачи и его проверке на корректность.
3. *Сохранение прецедента*, который может оказаться полезным для решения новых задач (пополнение библиотеки прецедентов).

В применении СВР-подхода существует ряд положительных моментов:

- используется предыдущий опыт;
- в ряде случаев обеспечивается более высокое качество решений в силу того, что прецедент описывает то, что действительно когда-то имело место, а не гипотетически возможную стратегию;
- возможность решения ряда задач, когда ситуация недостаточно понятна или ее описание неполно.

Как правило, задачу поиска прецедента(ов) разделяют на три части:

- выбор свойств для сопоставления;
- сопоставление;
- выбор решения.

Метод прецедентов может использоваться и при выборе стратегий расхождения судов. Наиболее перспективным он считается для ситуаций, когда суда по какой-то причине оказались чрезмерно близкими друг к другу. Образцы расхождения в таких ситуациях, которые вносятся в базу прецедентов, находятся на тренажерах опытными судоводителями. При таком подходе могут быть представлены стратегии расхождения для массы возможных ситуаций сближения судов.

7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ РАСХОЖДЕНИЯ В-МАНЕВРОВ

7.1. Принцип формирования зон для выбора В-маневров

Типичным действием по расхождению является В-маневр. Его схема с пренебрежением и с учетом инерционности судна показана на рисунках 1.4 и 1.5. В-маневр должен выбираться с учетом ограничений, накладываемых на него «целями». Совокупность в ОДМ меток ограничений от всех «целей» называется *каркасом В-маневра*. С его помощью находят значения параметров В-маневра, при которых он соответствует целям расхождения.

В этом параграфе рассматривается принцип построения элементов, отражающих ограничения «целей» на В-маневры судна оператора, когда инерционность СО не учитывается [5]. Эти элементы могут быть двух видов:

- **зоны** опасных при В-маневре позиций судна оператора по отношению к «целям» (отвечающая СЦ_J зона опасности обозначается ЗО_J).
- **метки** ограничения В-маневра (МОМ) «целями» (см. параграф 6.4).

При характеристике В-маневра используются обозначения:

K_{III} - исходный курс судна оператора;

$K_P = K_{III} - \theta$ - курс уклонения влево;

$K_S = K_{III} + \theta$ - курс уклонения вправо.

Угол θ может задаваться от 10^0 до 150^0 . По умолчанию он принимается равным рациональному для расхождения в данных условиях значению θ^r .

Область движения и безопасных В-маневров (ОДМ) задается шириной (ξ_P, ξ_S) левой и правой полос допустимых смещений СО от исходной линии пути (с учетом навигационных ограничений акватории). Начало полосы допустимых смещений вправо образует отрезок OG на курсе уклонения K_S , который для одной из ситуаций сближения судов показан на рис. 7.1, где изображение ориентировано по K_{III} . Если бы отображалась и левая полоса допустимых смещений, то ее торцевой отрезок был бы направлен вдоль курса K_P .

Текущее место O судна оператора считается опорным элементом обеих полос допустимых смещений. На экране САРП и НИС можно показывать одну из этих полос или обе вместе. Вторым вариантом предпочтительнее, так как позволяет намечать В-маневры в обе стороны.

Принцип построения ЗО [5] для ситуации пересечения курсов характеризуется в правой для В-маневра полосе на рис. 7.1, где обозначено:

V, K_{III} – скорость оперирующего судна и его курс перед маневром;

K_J, V_J – курс и скорость «цели» J ;

k_{III}, u_{III} и k_S, u_S – курс и скорость относительно «цели» судна оператора,

следующего относительно грунта соответственно курсами K_{III} и K_S ;

A_1, A_2 – точки поворота с курса K_{III} на курс K_S для расхождения с «целью» на дистанции d^S ;

B_1, B_2 – точки возвращения с курса K_S к прежнему курсу K_{III} для расхождения с «целью» на дистанции d^S ;

$MnpZqr$ – зона опасных позиций судна оператора при В-маневре по отношению к «цели» J ;

MZ – метка ограничения В-маневра «целью» J ;

Q, A_0, B_0 – центр ЗО и точки поворота с курса K_{III} на курс K_S и возвращения с курса K_S к прежнему курсу K_{III} для сближения с «целью» вплотную;

a_0, a_1, a_2 и b_0, b_1, b_2 – точки на линиях относительного движения судна оператора, соответствующие точкам A_0, A_1, A_2 и B_0, B_1, B_2 ;

Δ_ξ – интервал смещений от планового пути, приводящих к чрезмерному сближению с «целью».

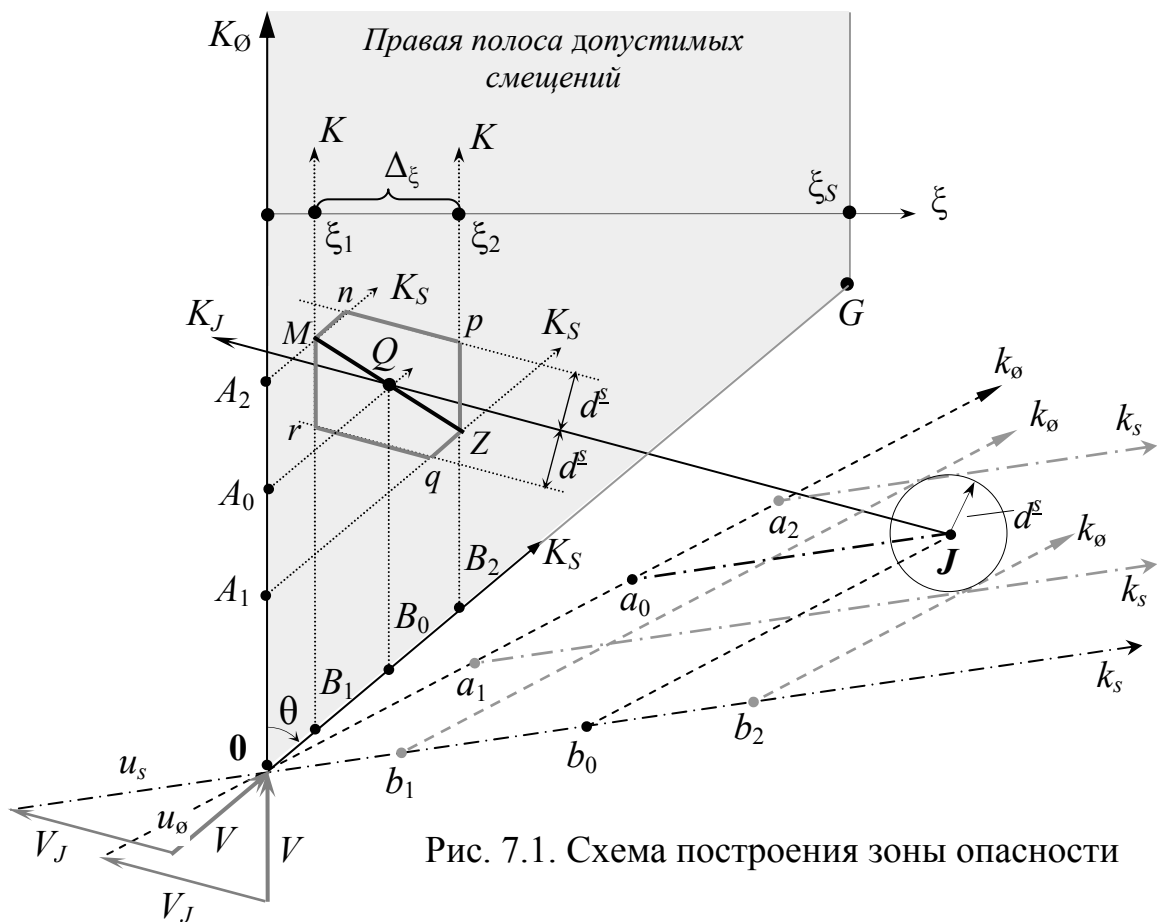


Рис. 7.1. Схема построения зоны опасности

Расстояния S_{Ai} и S_{Bi} ($i = 0, 1, 2$) от текущей позиции 0 судна оператора до точек A_0, A_1, A_2 и B_0, B_1, B_2 определяется по необходимому для прихода в них времени t_{Ai} и t_{Bi} . Оно рассчитывается по относительным

расстояниям s_{ai} , s_{bi} ($0a_0$, $0a_1$, $0a_2$ и $0b_0$, $0b_1$, $0b_2$) и значениям скорости $u_{ш}$ u_s :

$$t_{Ai} = s_{ai} / u_{ш}, \quad t_{Bi} = s_{bi} / u_s, \quad S_{Ai} = V \cdot t_{Ai}, \quad S_{Bi} = V \cdot t_{Bi}. \quad (7.1)$$

Строго положение точек контура ЗО получается по времени движения СО от текущего места до сближения на d^s с «целью» при В-маневре в интервале Δ_ξ . Однако этот способ не удобен при реализации.

В общем случае упрощенная ЗО представляет собой область пересечения четырех полос, три из них назовем образующими, а четвертую – лимитирующей [5]. Последней является правая или левая допустимая для В-маневров полоса. Она влияет на образованный первыми тремя полосами контур ЗО, когда он выходит за ее пределы.

Образующие ЗО три полосы имеют границы, параллельные линиям курсов: K_J , $K_{ш}$, K_S или K_P . Границы первой из этих полос отстоят от линии K_J на расстоянии d^s . Положение границ второй полосы определяется точками B_1 и B_2 , а третьей – A_1 , A_2 . Расстояния от СО до точек A_1 , A_2 и B_1 , B_2 вычисляются по формулам (7.1). Центр ЗО (на рис. 7.1 – точка Q) находится на одинаковом расстоянии от границ каждой из полос. В отдельно рассматриваемых правой и левой области допустимых В-маневров контур ЗО судна оператора может быть шести-, четырех- и пятиугольником.

Некоторые из ЗО представлены на рис. 7.2, где $k_{ш}$, k_s , k_p – курс относительно «цели» судна оператора, когда оно следует относительно грунта соответственно курсами $K_{ш}$, K_S , K_P . В случаях *А*, *Б*, *В* пределы области допустимых В-маневров не влияют на ЗО, в отличие от случаев *Г*, *Д*. На рис. 7.2, *Е*, *Ж* показаны ЗО опасной по d -критерию «цели» при совместном отображении правой и левой полос допустимых смещений [5].

Анализируя схемы на рис. 7.1, 7.2 можно сделать ряд выводов:

- При отсутствии маневров «цели» и судна оператора, или при его движении на курсе уклонения, *положение ЗО относительно грунта не изменяется* со временем (если она остается от линии курса K , проходящего через текущее место судна, с той стороны, куда оно уклоняется).
- При постоянных значениях K , V , K_J , V_J с ходом времени ЗО со скоростью V сближается с торцевой границей ОДМ и через определенное время уйдет из ОДМ.
- Величина ЗО пропорциональна d^s , причем соответствующие разным d^s контуры зон опасности являются концентричными.

- У опасной по d -критерию «цели», когда курсы $k_{ш}$, k_s (или $k_{ш}$, k_p) одинаковы или противоположно направлены, зона опасности бесконечна (рис. 7.2, Ж). Это означает, что при заданном угле θ любое смещение ξ приводит к опасному сближению с «целью».
- При малых углах между курсами $k_{ш}$, k_s (или $k_{ш}$, k_p) величина Δ_ξ становится слишком большой. Это является признаком необходимости назначения более подходящего угла θ .

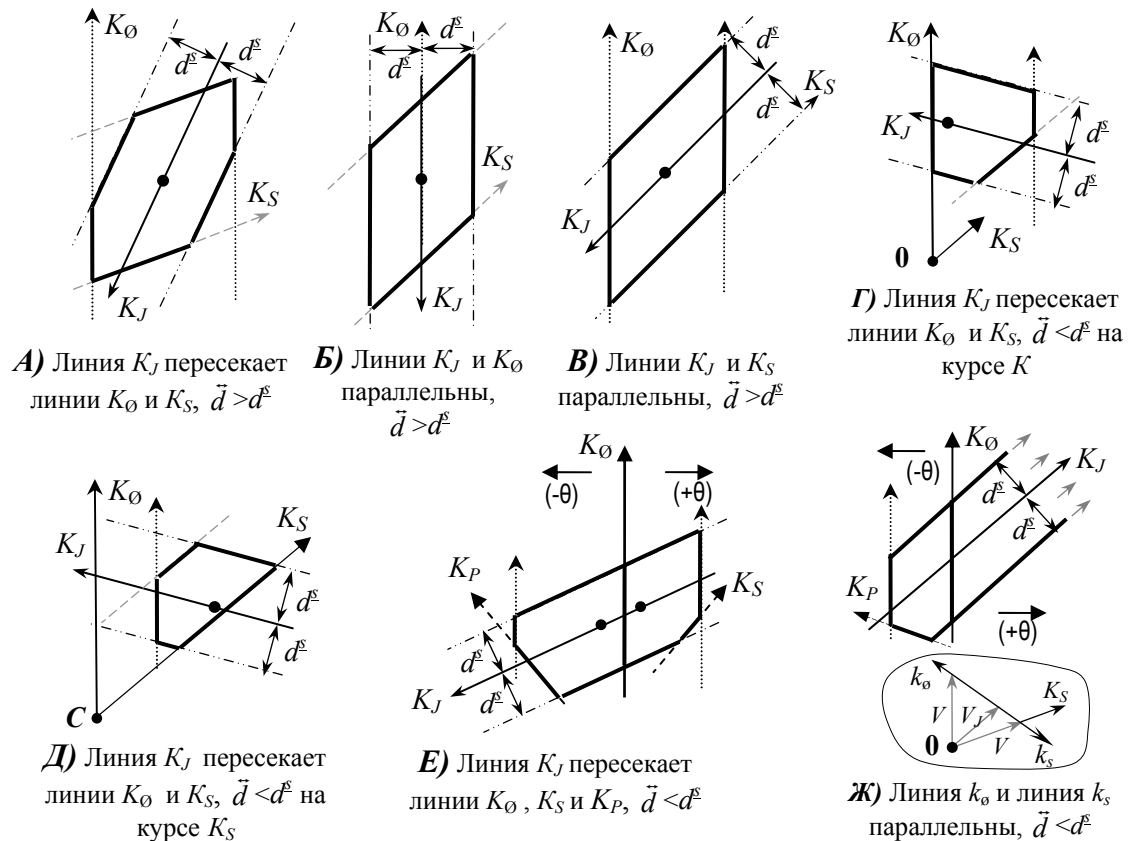


Рис. 7.2. Виды зон опасных позиций СО

По рисунку 7.1 видно, что для выбора В-маневра **достаточна метка его ограничения** «целью». Такая метка позволяет установить:

- на каком отрезке планового пути (на рис. 7.1 – отрезок $A_1 A_2$) поворот на курс уклонения сопровождается чрезмерным сближением с «целью»;
- на каком отрезке на линии уклонения (на рис. 7.1 – отрезок $B_1 B_2$) возвращение на прежний курс приводит к $\bar{d} \leq d^E$.

Ниже при выборе для расхождения В-маневра рассматриваются только **метки его ограничений** «целями».

7.2. Упрощенный расчет положения метки ограничения В-маневра

Упрощение заключается в предположении, что повороты судна происходят мгновенно. MOM рассматривается в ориентированной по норду

системе координат XOY для уклонения судна оператора **вправо**. При изменении курса влево алгоритм вычислений такой же. Для получения расчетных зависимостей используется ситуация рис. 7.1, показанная на рис. 7.3 с ориентацией по норду.

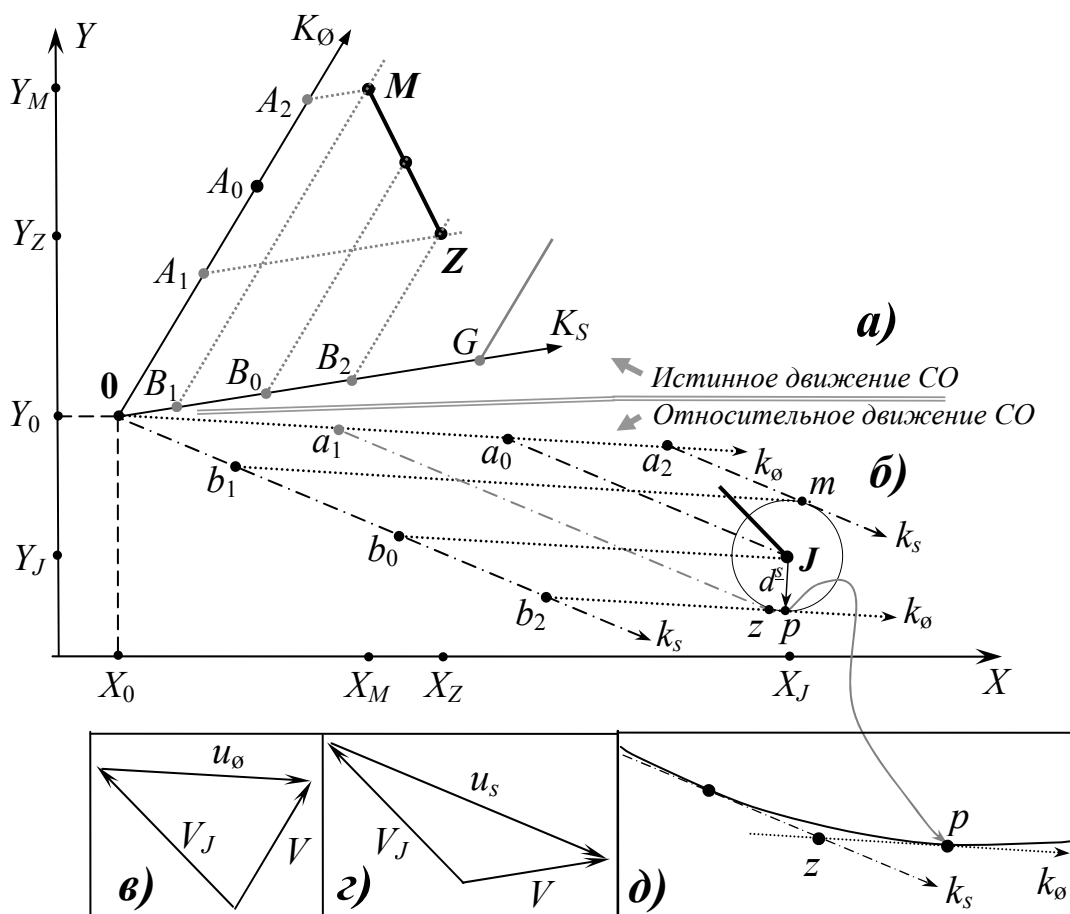


Рис. 7.3. К расчету координат метки ограничения маневра

Метка ограничения «целью» В-маневра полностью определяется координатами своих концов. Для их нахождения выполняются следующие операции.

1) Определяется курс k_{III} и скорость u_{III} судна оператора относительно «цели», при условии что курс СО равен исходному значению. Расчет производится по формулам

$$\left. \begin{aligned} u_{IIIx} &= V \cdot \sin K_{III} - V_J \cdot \sin K_J \\ u_{IIIy} &= V \cdot \cos K_{III} - V_J \cdot \cos K_J \end{aligned} \right\}, \quad (7.2)$$

$$\left. \begin{aligned} u_{III} &= \sqrt{u_{IIIx}^2 + u_{IIIy}^2} \\ k_{III} &= \arcsin(u_{IIIx}/u_{III}) \end{aligned} \right\}, \quad (7.3)$$

где $u_{\text{шх}}, u_{\text{шц}}$ - составляющие скорости $u_{\text{шр}}$ по осям OX, OY .

Выражения (7.2), (7.3) связывают элементы треугольника, показанного на рис. 7.3,в.

2) Рассчитываются относительный курс k_s и скорость u_s судна оператора при условии его движения по линии уклонения. Значения k_s и скорость u_s находятся из треугольника на рис. 7.3,з. Решение производится по формулам (7.2), (7.3), в которых вместо K_{III} берется K_S .

3) Находится время t_{A0}, t_{B0} следования судна оператора от точки 0 соответственно до точек A_0 (по линии курса K_{III}) и B_0 (по линии курса K_S) (см. рис. 7.3,а). Значения t_{A0}, t_{B0} являются корнями линейной системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} u_{sx}t_{B0} + u_{шх}t_{A0} &= X_J - X_0 \\ u_{sy}t_{B0} + u_{шц}t_{A0} &= Y_J - Y_0 \end{aligned} \right\} \quad (7.4)$$

Эта система получается при записи составляющих по осям OX, OY (см. рис. 7.3,б) относительного перемещения судна оператора по пути $0, b_0, J$ для сближения с «целью» вплотную.

4) Определяется время t_{B2} следования судна оператора от места 0 до точки B_2 (по линии курса K_S) и время τ_A движения курсом K_{III} от позиции B_2 до точки кратчайшего сближения с «целью» на дистанции d^s . Параметры t_{B2}, τ_A находятся из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} u_{sx}t_{B2} + u_{шх}\tau_A &= X_J - X_0 + d^s \cdot \cos k_{\text{III}} \\ u_{sy}t_{B2} + u_{шц}\tau_A &= Y_J - Y_0 - d^s \cdot \sin k_{\text{III}} \end{aligned} \right\} \quad (7.5)$$

Эта система отражает (см. рис. 7.3,б,д) составляющие относительного пути $0, b_2, p$ судна оператора для расхождения с «целью» на расстоянии d^s (где p - точка касания линии курса k_{III} и окружности радиусом d^s).

5) Рассчитываются интервалы времени t_{A1}, t_{A2} и t_{B1} следования судна оператора от места 0 соответственно до точек A_1, A_2 (курсом K_{III}) и до точки B_1 (курсом K_S)

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{tb} &= t_{B2} - t_{B0} \\ \Delta_{ta} &= \Delta_{tb} \cdot u_s / u_{\text{шр}} \end{aligned} \right\} \quad (7.6)$$

$$\left. \begin{aligned} t_{A1} &= t_{A0} - \Delta_{ta} \\ t_{A2} &= t_{A0} + \Delta_{ta} \\ t_{B1} &= t_{B0} - \Delta_{tb} \end{aligned} \right\}, \quad (7.7)$$

6) Вычисляется время движения СО на курсе уклонения от точки 0 до позиции G (границы области движения и маневра)

$$t_{BG} = \xi_S / (V \cdot \sin\theta_S).$$

7) Анализируются значения t_{A1} , t_{B1} , t_{A2} , t_{B2} для установления, находится ли МОМ в пределах области движения и маневра СО.

*Если $\{t_{A1} < 0 \text{ и } t_{A2} < 0\}$ или $\{t_{B1} < 0 \text{ и } t_{B2} < 0\}$
или $\{t_{B1} > t_{BG} \text{ и } t_{B2} > t_{BG}\}$, то $МОМ \notin ОДМ$.*

*Если $\{t_{A1}, t_{B1}, t_{A2}, t_{B2}$ больше нуля} и $\{t_{b1}, t_{b2}$ меньше $t_{BG}\}$,
то $МОМ \in ОДМ$.*

При выполнении второго условия рассчитываются координаты концов метки (см. рис. 7.3,а) по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_M &= X_0 + V \cdot t_{B1} \cdot \sin K_S + V \cdot t_{A2} \cdot \sin K_{III} \\ Y_M &= Y_0 + V \cdot t_{B1} \cdot \cos K_S + V \cdot t_{A2} \cdot \cos K_{III} \end{aligned} \right\}, \quad (7.8)$$

$$\left. \begin{aligned} X_Z &= X_0 + V \cdot t_{B2} \cdot \sin K_S + V \cdot t_{A1} \cdot \sin K_{III} \\ Y_Z &= Y_0 + V \cdot t_{B2} \cdot \cos K_S + V \cdot t_{A1} \cdot \cos K_{III} \end{aligned} \right\}. \quad (7.9)$$

Еще три условия, определяющие положение метки в ОДМ, приведены на рис. 7.4,а,б,в для В-маневра в правую сторону. Координаты концов метки в этих случаях также вычисляются по формулам (7.8), (7.9).

Небольшое изменение вносится для опасной по d -критерию «цели», метка которой находится на линии пути судна оператора (см. рис. 7.4,а). В этом случае, так как рассматривается смещение вправо, то находящаяся слева от линии курса часть MA метки не должна отображаться и браться во внимание при выборе В-маневра вправо.

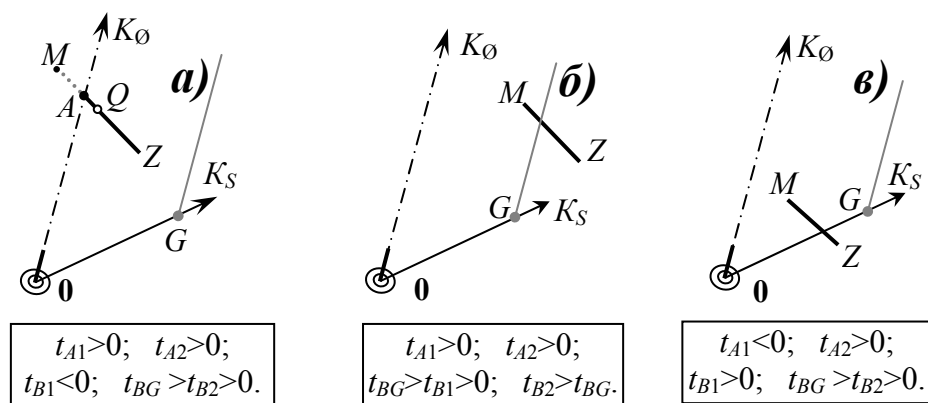


Рис. 7.4. Условия расположения MOM

В заключение можно отметить:

- «Цель», MOM которой попадает на линию курса судна оператора, является опасной по d -критерию.
- Не представляющая угрозы «цель», метка или часть метки которой попадает в ОДМ, является *лимитирующей* В-маневр.
- Если линия пути СО проходит через метку ограничения в точке A (как на рис. 7.4,а), то расстояние кратчайшего сближения с «целью» равно

$$\vec{d} = 2 \cdot d^s \cdot \frac{AQ}{MZ}. \quad (7.10)$$

7.3. Погрешность в дистанции расхождения из-за пренебрежения инерционностью СО при В-маневре

Намечаемая траектория В-маневра рассматривается как маршрут судна для расхождения с «целью». При следовании по заданному маршруту для учета инерционности судна поворот начинается с упреждением, необходимым для точного выхода на новый отрезок пути. Выше при построении MOM (см. параграфы 7.1, 7.2) повороты судна оператора считались мгновенными. Такое предположение приводит к погрешности прогноза положения «целей» на конец В-маневра. В результате при расхождении возникает несоответствие ДСРА с дистанцией, намеченной по концам метки.

Траектория центра массы судна при изменении $K_{Ш}$ на угол и показана на рис. 7.5,а, где

S_{θ} - расстояние до путевой точки C_H , на котором надо начать поворот, чтобы точно выйти на линию нового курса;

$S_{\theta 2}$ - дистанция от C_H до точки C_{θ} , в которой судно выходит на новый курс.

При автоматическом выполнении поворота $S_{\theta 2}$ обычно меньше, чем S_{θ} . Аналогичная картина наблюдается и при изменениях курса опытными рулевыми.

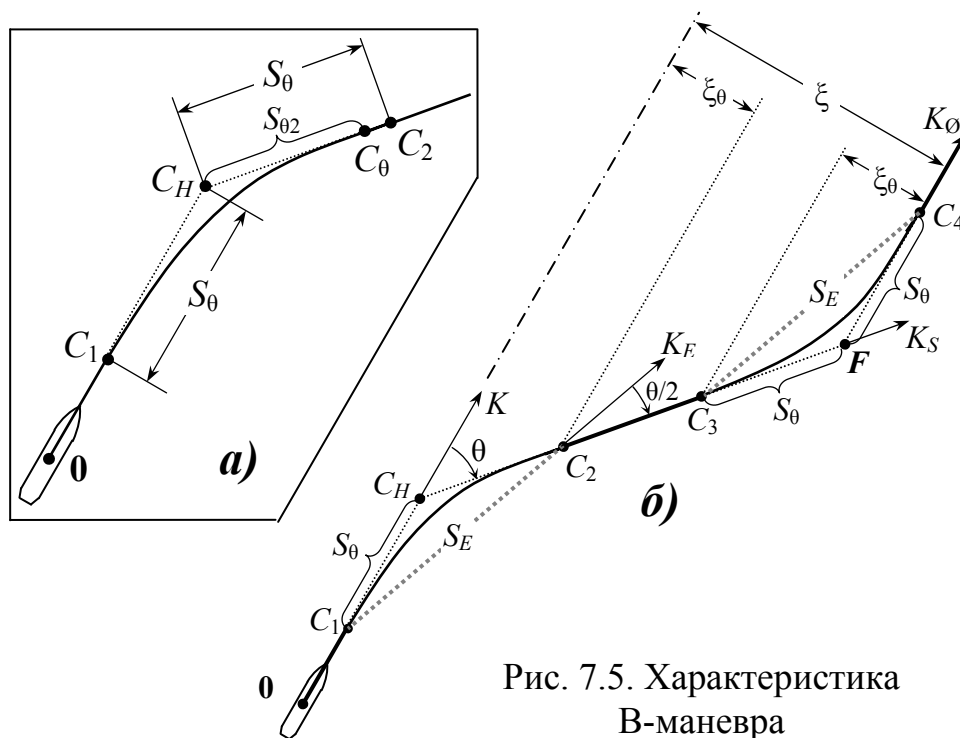


Рис. 7.5. Характеристика В-маневра

При планировании В-маневров с учетом динамики судна для удобства **концом поворота считается точка C_2** . Она отстоит от C_H на таком же расстоянии S_θ , как и точка C_1 (см. рис. 7.5,а). Время t_θ поворота и траекторию судна между точками C_1 и C_2 целесообразно находить моделированием движения. Дистанция C_1C_2 , проходимая судном при изменении курса, короче расстояния по ломаной линии $C_1C_HC_2$. Из-за этого продолжительность В-маневра будет меньше его времени, получаемого без учета инерционности судна. Разность $\Delta_{\theta t}$ между временем движения по прямым отрезкам пути $C_1C_HC_2$ ($2 \cdot S_\theta$) и временем t_θ поворота судна на угол θ находится по формуле

$$\Delta_{\theta t} = 2 \cdot S_\theta / V - t_\theta. \quad (7.11)$$

В табл. 7.1 для двух судов приведены параметры изменения курса с углом руля $\beta = 15^\circ$. По этим данным можно установить, что величина $\Delta_{\theta t}$ может быть значительной.

Если по МОМ, полученной без учета инерционности СО, выбрать В-маневр для расхождения на дистанции d^S , то при пересечении курса «цели» по носу из-за меньшего времени поворота ДСПА будет больше, а при пересечении по корме – меньше, чем d^S . Величина несоответствия зависит

от угла θ , соотношения скоростей и геометрии сближения судов. При больших углах θ она может достигать 5 кб.

Таблица 7.1.- Параметры, характеризующие В-маневр

	Контейнеровоз, 25 тыс.т., $V=17,1$ уз.				Танкер, 130 тыс.т., $V=13,6$ уз.			
	30	60	90	120	30	60	90	120
θ^0								
S_θ , кб	1,4	2,1	3,1	4,8	2,4	3,6	5,1	7,7
$\Delta_{\theta t}$, с	1	4	20	65	9	16	45	131
$2\Delta_{\theta t}$, с	2	8	40	130	18	32	90	262
ξ_θ , кб	0,7	1,8	3,1	4,2	1,2	3,1	5,1	6,7
$\check{\xi}$, кб	1,4	3,6	6,2	8,4	2,4	6,2	10,2	13,4

Увеличение ДСРА при пересечении курса «цели» по носу не оказывает отрицательного влияния на безопасность маневра в отличие от уменьшения ДСРА при расхождении по корме. Для устранения несоответствия между планируемой и действительной ДСРА, метка должна рассчитываться с учетом динамики СО.

Инерционность судна оператора ограничивает нижнюю границу ξ полосы допустимых смещений. Чтобы при В-маневре нормально отработать два поворота в разные стороны на угол θ (см. рис. 7.5,б), задаваемое смещение ξ от линии пути должно быть больше величины $\check{\xi} = 2 \cdot \xi_\theta$.

7.4. Определение меток ограничения В-маневра с учетом инерционности судна

При рассмотрении алгоритма используются схемы, характеризующие истинное (рис. 7.6) и относительное (рис. 7.7) движение судна оператора при В-маневрах. На этих схемах криволинейные участки поворотов СО заменены (см. рис. 7.5,б) эквивалентными по времени прямыми отрезками (S_E - на схеме истинного и s_e - на схеме относительного движения).

Алгоритм расчета с учетом инерционности СО положения МОМ включает следующие операции.

1) Моделированием поворота на угол θ находится траектория $C_1 C_2$ судна и параметры S_θ и t_θ (см. рис. 7.5,а).

2) Криволинейные участки $C_1 C_2$, $C_3 C_4$ (см. рис. 7.5,б) заменяется эквивалентными по времени прямыми отрезками длиной S_E

$$S_E = 2 \cdot S_\theta \cdot \cos \frac{\theta}{2}. \quad (7.12)$$

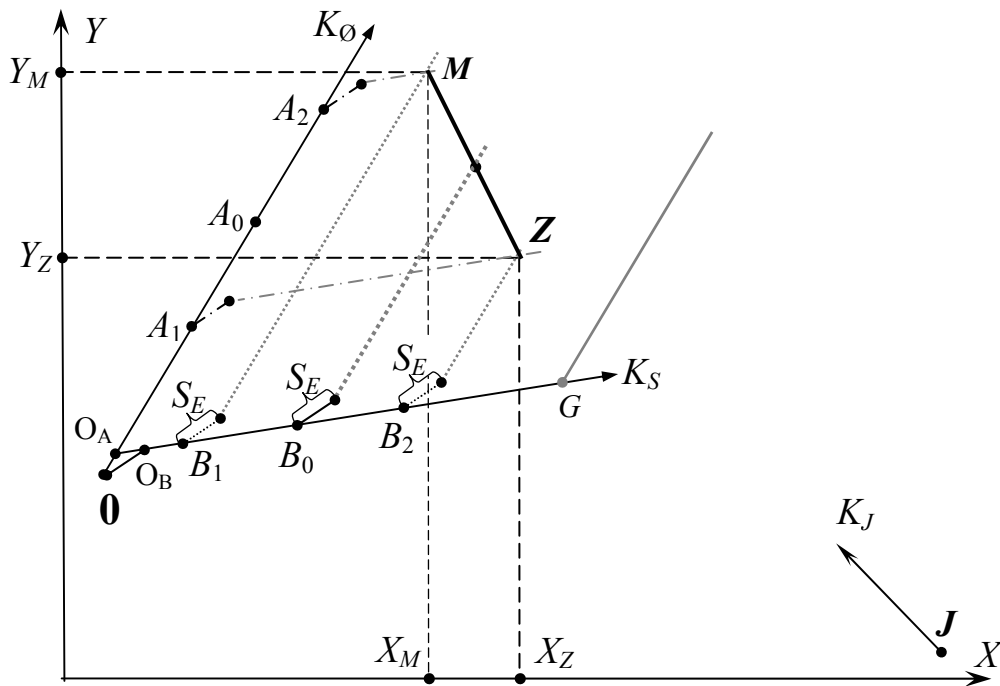


Рис. 7.6. Характеристика истинного движения СО при В-маневре

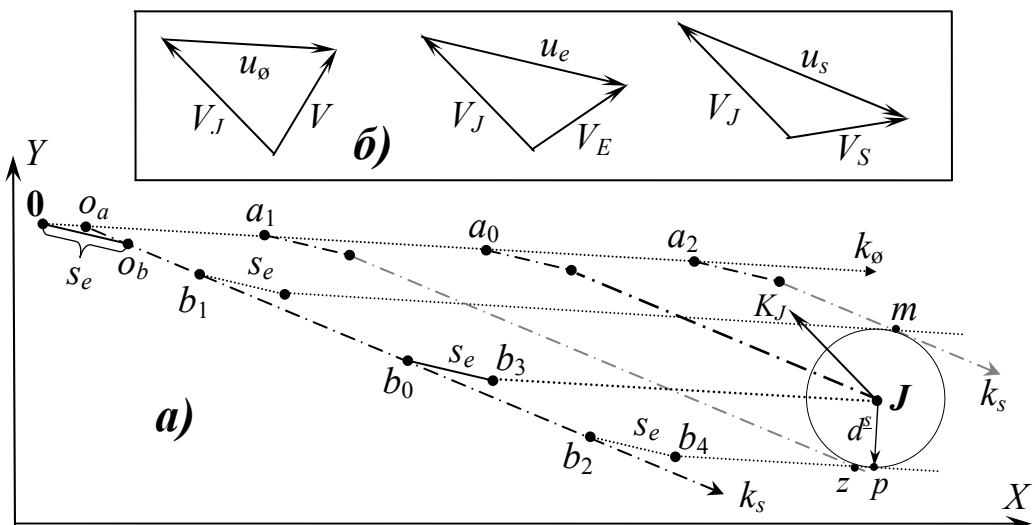


Рис. 7.7. Перемещения СО относительно «цели» при В-маневре

3) Рассчитывается курс и скорость судна на этих отрезках

$$K_E = 0,5 \cdot (K_{III} + K_S), \quad (7.13)$$

$$V_E = S_E / t_\theta. \quad (7.14)$$

4) Решением «треугольников скоростей» (рис. 7.7,б) по формулам (7.2), (7.3) определяется относительный курс и скорость судна оператора:

k_{III} u_{III} - для движения СО курсом K_{III} и скоростью V ;

k_s, u_s - для движения СО курсом K_S и скоростью V ;

k_e, u_e - для движения СО курсом K_E и скоростью V_E .

5) По u_e и t_θ вычисляется эквивалентное расстояние s_e , которое за время поворота проходит СО в относительном движении

$$s_e = u_e \cdot t_\theta. \quad (7.15)$$

6) Находятся интервалы времени t_{A0}, t_{B0} следования судна оператора между точками O_A и A_0, O_B и B_0 (рис. 7.6) из системы линейных уравнений

$$\left. \begin{aligned} u_{sx}t_{B0} + u_x t_{A0} &= X_J - X_0 - 2 \cdot s_{ex} \\ u_{sy}t_{B0} + u_y t_{A0} &= Y_J - Y_0 - 2 \cdot s_{ey} \end{aligned} \right\}. \quad (7.16)$$

Эти соотношения отражают относительное перемещение СО по пути $0, o_b, b_0, b_3, J$ для сближения с «целью» вплотную (см. рис. 7.7,а).

7) Находится время t_{B2} следования СО от точки O_B до точки B_2 и время τ_A движения от B_2 до СПА из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} u_{sx}t_{B2} + u_{шк}\tau_A &= X_J - X_0 + d^s \cdot \cos k_{ш} - 2 \cdot s_{ex} \\ u_{sy}t_{B2} + u_{шy}\tau_A &= Y_J - Y_0 - d^s \cdot \sin k_{ш} - 2 \cdot s_{ey} \end{aligned} \right\}, \quad (7.17)$$

Она составляется при рассмотрении относительного перемещения СО по пути $0, o_b, b_2, b_4, p$ для расхождения с «целью» на расстоянии d^s , где p (СПА) - точка касания линии курса $k_{ш}$ и окружности радиуса d^s с центром в месте «цели».

8) Рассчитываются интервалы времени t_{A1}, t_{A2} и t_{B1} следования судна оператора от места O_A соответственно до точек A_1, A_2 курсом $K_{ш}$ и от O_B до точки B_1 курсом K_S (см. рис. 7.6)

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{tb} &= t_{B2} - t_{B0} \\ \Delta_{ta} &= \Delta_{tb} \cdot u_s / u_{ш} \end{aligned} \right\}, \quad (7.18)$$

$$\left. \begin{aligned} t_{A1} &= t_{A0} - \Delta_{ta} \\ t_{A2} &= t_{A0} + \Delta_{ta} \\ t_{B1} &= t_{B0} - \Delta_{tb} \end{aligned} \right\}, \quad (7.19)$$

9) Находятся координаты концов метки

$$\left. \begin{aligned} X_M &= X_0 + 2 \cdot S_{EX} + V \cdot t_{B1} \cdot \sin K_S + V \cdot t_{A2} \cdot \sin K_{III} \\ Y_M &= Y_0 + 2 \cdot S_{EY} + V \cdot t_{B1} \cdot \cos K_S + V \cdot t_{A2} \cdot \cos K_{III} \end{aligned} \right\}, \quad (7.20)$$

$$\left. \begin{aligned} X_Z &= X_0 + 2 \cdot S_{EX} + V \cdot t_{B2} \cdot \sin K_S + V \cdot t_{A1} \cdot \sin K_{III} \\ Y_Z &= Y_0 + 2 \cdot S_{EY} + V \cdot t_{B2} \cdot \cos K_S + V \cdot t_{A1} \cdot \cos K_{III} \end{aligned} \right\}. \quad (7.21)$$

10) По этим координатам выделяются для отображения на экране метки, попавшие в ОДМ.

7.5. Отображение меток ограничений В-маневра и их использование

Изображение меток. На экране СПС представляются метки, которые попали в область движения и маневра СО. Она состоит из двух полос допустимых смещений влево и вправо под углом θ (рис. 7.8,а). Ширина этих полос обозначена ξ_P , ξ_S .

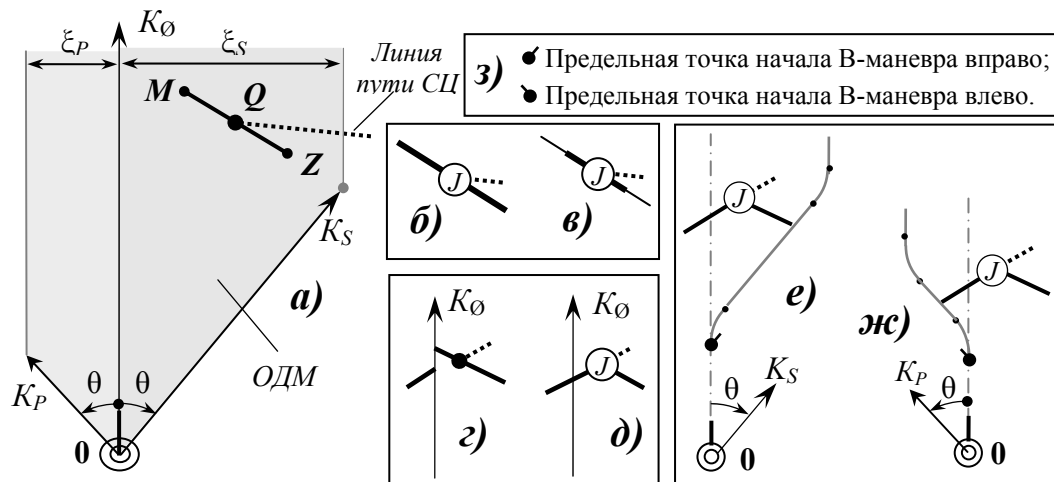


Рис. 7.8. К отображению меток опасных В-маневров

На экране метка MZ показывается без линий ее построения. Она дополняется номером соответствующей ей «цели» и указывающим на эту «цель» точечным отрезком (рис. 7.8,б).

Для неопасной по d -критерию «цели» кружочек с номером помещается в центре метки. Чтобы знать, до какого значения можно ослабить ограничение на В-маневр при расхождении, на метке MZ можно выделить интервал,

соответствующий наименьшему допустимому значению ДСПА (на рис. 7.8,в – «жирный» отрезок).

Если «цель» представляет угрозу, две ее метки, ограничивающие В-маневр вправо и влево, попадают на линию курса судна оператора (рис. 7.8,г). Чтобы эти метки выглядели как одна, их концы, не находящиеся на пути СО, соединяются с точкой кратчайшего сближения «цели» с СО (рис. 7.8,д).

Предельное начало безопасных действий. При планировании В-маневров необходимо знать точку на линии пути СО, изменение курса в которой на угол θ еще позволяет разойтись с опасной «целью» на дистанции d^s . Принцип определения положения предельной точки показан на рисунках 7.8,е,ж, где она обозначена соответствующим символом (рис. 7.8,з).

Представление криволинейных участков траектории В-маневра. На намечаемой траектории СО при В-маневре должны отображаться криволинейные участки изменения курса. При рассмотрении В-маневров концом поворота на заданный угол θ считается точка C_2 (рис. 7.9).

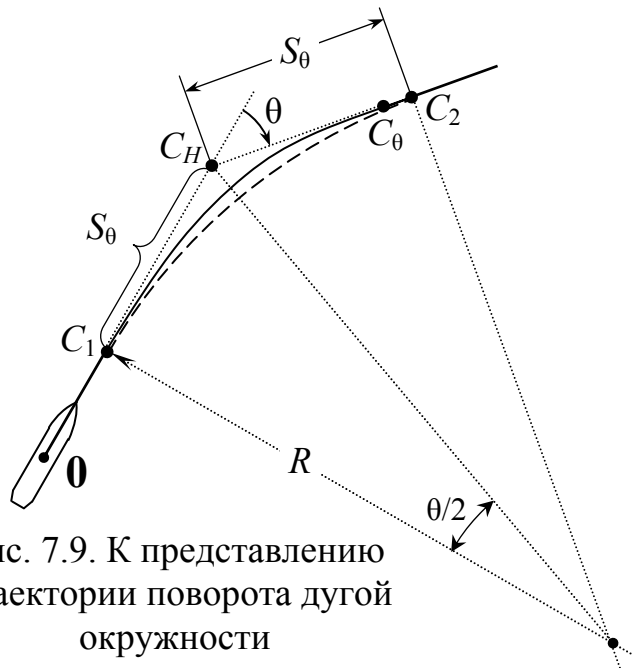


Рис. 7.9. К представлению траектории поворота дугой окружности

Время поворота t_θ и траектория $C_1 C_2$ находятся с помощью математической модели движения судна. На экране СПС траектория отображается своими точками или дугой окружности с радиусом

$$R = S_\theta \cdot \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}.$$

На рис. 7.9 эта дуга показана пунктирной линией.

Использование меток ограничений В-маневра. На экране СПС В-маневр задается указанием его *определяющей точки* курсором (рис. 7.10). «Цель» не представляет угрозы, когда планируемый путь судна оператора не пересекает метку ее ограничений на В-маневр.

Если такой путь проходит через один из концов метки, то суда разойдутся на дистанции d^S . При поиске подходящего для расхождения В-маневра должна быть возможность изменения параметров θ , d^S .

Для непривилегированного судна CO_{HP} , обязанного предпринять маневр, задаваемый угол θ (рис. 7.10,а) должен быть заметным и не приводить к излишней потере ходового времени. Начало уклонения должно находиться на отрезке «заблаговременных действий».

Маневр привилегированного судна $CO_{П}$, на случай непринятия действий «целью», планируется так, чтобы начало участка уклонения не лежало на «запрещенном для маневров» отрезке пути $CO_{П}$ (рис. 7.10,б). Предпринимать самостоятельные действия $CO_{П}$ может только в тех очевидных случаях, когда бездействие или недостаточно эффективное действие «цели» может привести к столкновению. Перед этим судно оператора должно проинформировать «цель» доступными способами о том, что ситуация сближения опасная.

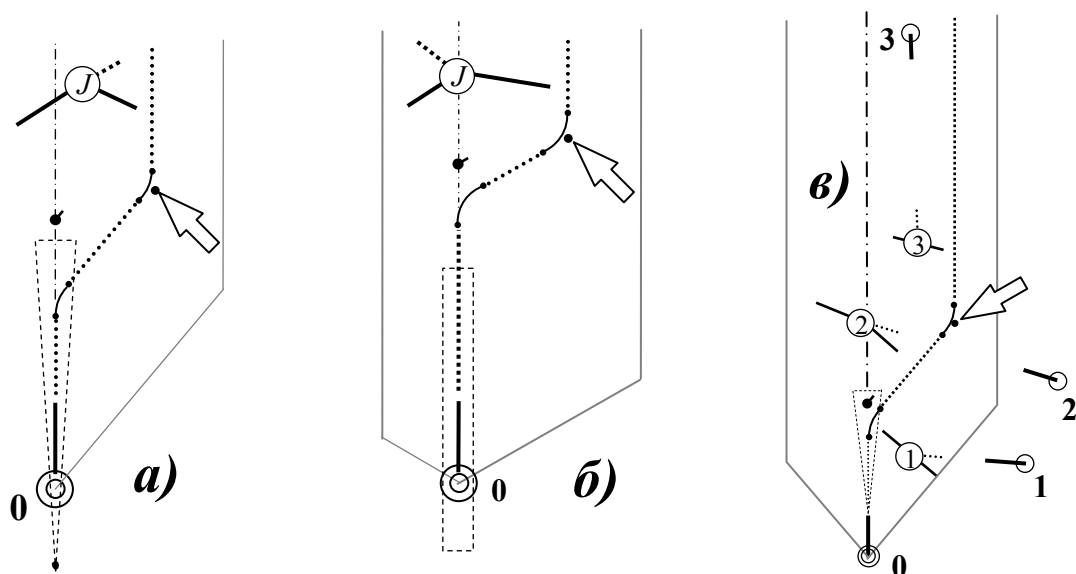


Рис. 7.10. Примеры выбора В-маневра

На рис. 7.10,в показан пример выбора В-маневра в ситуации с тремя «целями».

Указатель пересечения курса «цели» по носу. При планировании расхождения должно быть четкое представление о том, по носу или по корме пересекается курс «цели». При В-маневрах могут встречаться ситуации, когда при одних углах уклонения θ курс «цели» будет пересекаться по носу, а при других, - по корме (рис. 7.11).

При уклонении $\theta = 30^0$ (рис. 7.11,а) судно оператора пересечет курс «цели» по носу, а при углах $\theta = 65^0, 90^0, 120^0$ (рис. 7.11,б,в,г) – по корме.

Для выделения варианта пересечения по носу на соответствующей стороне метки нанесен пересекающий ее отрезок (рис. 7.11,а).

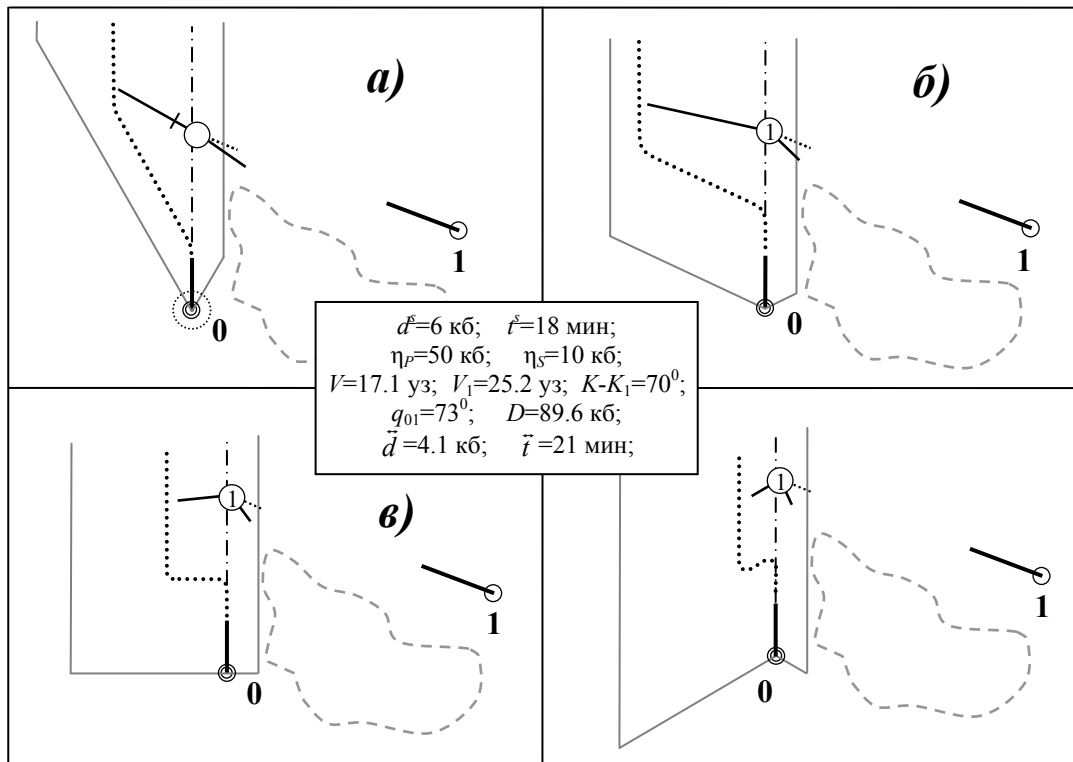


Рис. 7.11. Варианты расхождения с «целью»

Для рассматриваемых на рис. 7.11 случаев в табл. 7.2 приведены данные о необходимом смещении СО от линии пути для расхождения с «целью» на d^s при выборе меток В-маневров без учета и с учетом инерционности судна. Максимальная погрешность в ДСРА от пренебрежения инерционностью судна соответствует В-маневру с уклонением 120^0 .

Таблица 7.2. - Смещение ξ влево для расхождения на d^s

Пересечение курса «цели» θ_p	По носу				По корме		
	30^0	34^0	$35\div 59^0$	60^0	65^0	90^0	120^0
ξ , кб (без учета инерции СО)	24	43	>50	48	38	17	8
ξ , кб (с учетом инерции СО)	24	43	>50	49	39	19	12

Отображение каркаса для выбора В-маневра. Совокупность меток ограничений В-маневра всеми «целями» образует в ОДМ *каркас этого маневра* СО. Элементы каркаса могут рассматриваться как виртуальные навигационные препятствия, через которые, как и через реальные препятствия, не должна проходить траектория СО.

Для обеспечения наглядности прокладки пути СО на ЭНК каркас В-маневра можно показывать на экране только при появлении опасной «цели» и с минимальной ОДМ. Эта ОДМ определяется границами, проходящими через концы метки опасной «цели» (рис. 7.12). Они позволяют установить, на какое минимальное расстояние надо сместиться от линии исходного курса

для устранения угрозы столкновения, и есть ли «цели», лимитирующие это действие.

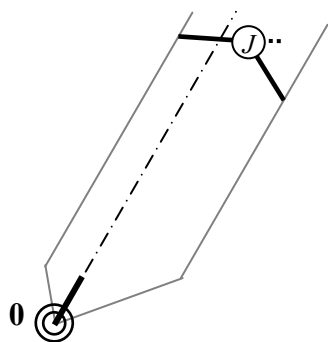


Рис. 7.12. Метка от опасной «цели» и минимальная ОДМ

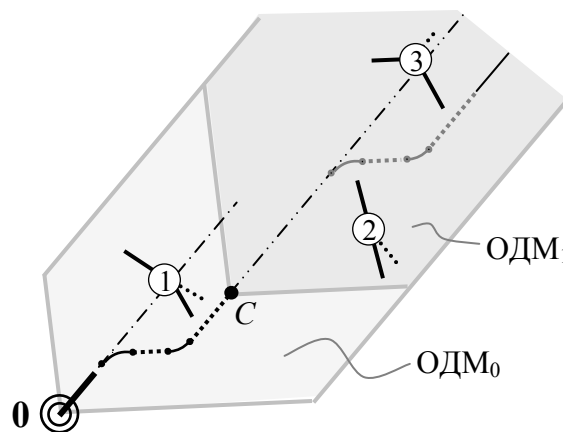


Рис. 7.13. Планирование двух В-маневров

Планирование последовательных В-маневров. Когда в ОДМ₀ первый В-маневр определен, может намечаться второе действие (см. рис. 7.13, а также параграф 5.4). Для этого на линии нового пути берется определяющая акваторию (ОДМ₁) второго В-маневра опорная точка *C*. В этой акватории показываются МОМ, рассчитанные по прогнозу движения СО и «целей».

По меткам в ОДМ₁ находится второй маневр. Точка *C* определяет ОДМ₁ до тех пор, пока СО не придет в нее. После этого базовой точкой ОДМ₁ становится текущее место СО.

Аналогично намечаются, если необходимо, третий и следующие за ним маневры [6].

7.6. Обобщение каркаса В-маневра и учет возможных действий «цели»

Обобщение каркаса В-маневра. Иногда изображение меток ограничений, накладываемых «целями» на В-маневр СО, можно обобщить. Признаком возможности такой операции является пересечение проекций двух меток на исходную линию пути и линию уклонения. Примером (рис. 7.14,а) могут служить метки $A_J B_J$ и $A_H B_H$, отражающие ограничения «целей» *J* и *H* на В-маневр СО. Вместо этих двух меток может использоваться одна эквивалентная $A_\Sigma B_\Sigma$ (рис. 7.14,а,б).

Координаты концов эквивалентной метки получаются по формулам

$$\begin{aligned} \zeta_{A\Sigma} &= \text{MAX}(\zeta_{AJ}, \zeta_{AH}), & \eta_{A\Sigma} &= \text{MIN}(\eta_{AJ}, \eta_{AH}); \\ \zeta_{B\Sigma} &= \text{MIN}(\zeta_{BJ}, \zeta_{BH}), & \eta_{B\Sigma} &= \text{MAX}(\eta_{BJ}, \eta_{BH}). \end{aligned}$$

Возможность такого обобщения распространяется и на большее число МОМ с пересекающимися проекциями. Охарактеризованная операция уменьшения числа меток ограничений маневра СО называется *обобщением*

каркаса. В общем случае эквивалентная метка отмечает запрещенную для B -маневров CO область, порождаемую группой CC .

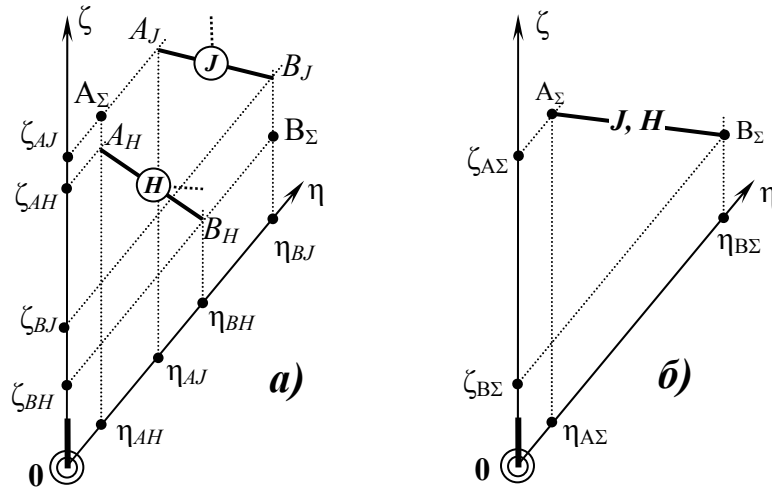


Рис. 7.14. Принцип обобщения каркаса B -маневра

Учет возможного маневра «цели». При выборе действия для устранения угрозы столкновения необходимо учитывать возможный маневр «цели». В частности, это касается случая расхождения в ситуации пересечения курсов, когда «цель» является непривилегированной, но, по мнению CO , запаздывает с маневром. Ожидаемым действием «цели» в этой ситуации является отворот вправо на угол порядка 40^0 .

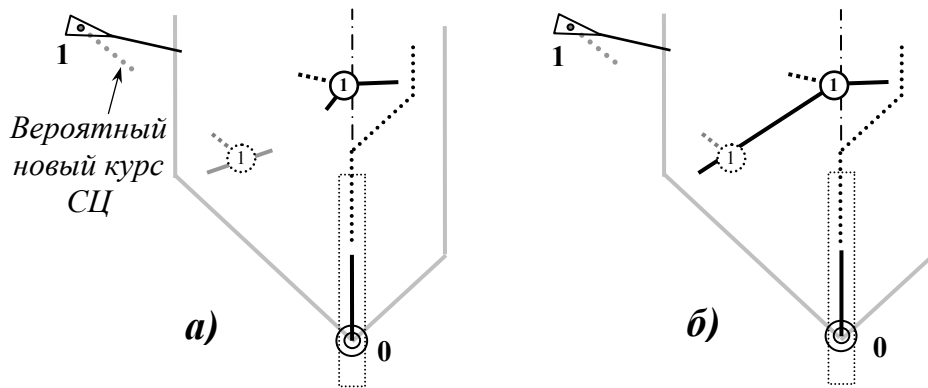


Рис. 7.15. Метка ограничений B -маневра, учитывающая вероятное изменение курса «целью»

При выборе маневра CO вероятное изменение курса «целью» может быть учтено объединением меток ограничения B -маневра CO , соответствующих ее исходному и предполагаемому курсу. Эта операция иллюстрируется на рис. 7.15, где приведена метка (рис. 7.15,б), эквивалентная двум меткам (рис. 7.15,а) для исходного и вероятного курса «цели».

7.7. Принцип численного определения оптимального В-маневра

При наличии критерия, объективно отражающего эффективность действий по предупреждению столкновений, оптимальный В-маневр расхождения с судами может быть найден и рекомендован судоводителю компьютером СПС. Один из возможных путей решения этой задачи характеризуется ниже при выборе В-маневра вправо. При уклонении влево алгоритм получения результата такой же.

Когда вид функции выполнения поворота и ее параметр заданы, В-маневр полностью определяется своей опорной точкой F . Ее положение характеризуется на рис. 7.16,*a* в прямолинейной системе координат $\zeta\eta$ с углом θ между осями. В этой системе

θ - угол уклонения;

ζ - расстояние от места судна оператора до путевой точки C_H пересечения исходной линии пути с линией курса уклонения;

η - дистанция между точками C_H и F .

Область поиска оптимального В-маневра. Для нахождения значений θ , ζ , η , при которых критерий оптимальности достигает максимума, определяется область допустимых значений координат точки F :

$$\theta_0 \leq \theta \leq \theta_G, \quad \zeta_\theta \leq \zeta \leq \zeta_G, \quad \eta_\theta \leq \eta \leq \eta_G; \quad (7.22)$$

где левые границы ζ_θ , η_θ зависят от угла θ .

На рис. 7.16,*a* представлена область (*abвг*) допустимых значений координат ζ и η для одного из значений θ .

Так как уклонение при расхождении должно быть заметным, то для открытого моря и прибрежных вод левую границу диапазона θ можно взять $\theta_0 = 30^\circ$. Правая граница θ_G назначается 150° или меньше.

Выбирая границы второго интервала (7.22), необходимо учитывать следующее. Если начать В-маневр в текущий момент времени, то точка C_H (см. рис. 7.16,*a*) будет находиться от места судна на расстоянии S_θ (см. рис. 7.9). Поэтому граница ζ_θ задается большей S_θ , например,

$$\zeta_\theta = S_\theta + s_m,$$

где s_m - расстояние, проходимое судном оператора за 1 минуту.

Другая граница ζ_G должна быть ближе к месту судна, чем точка его кратчайшего сближения с главной «целью». Например, можно взять

$$\zeta_G = V \cdot \vec{t}_\theta - s_m.$$

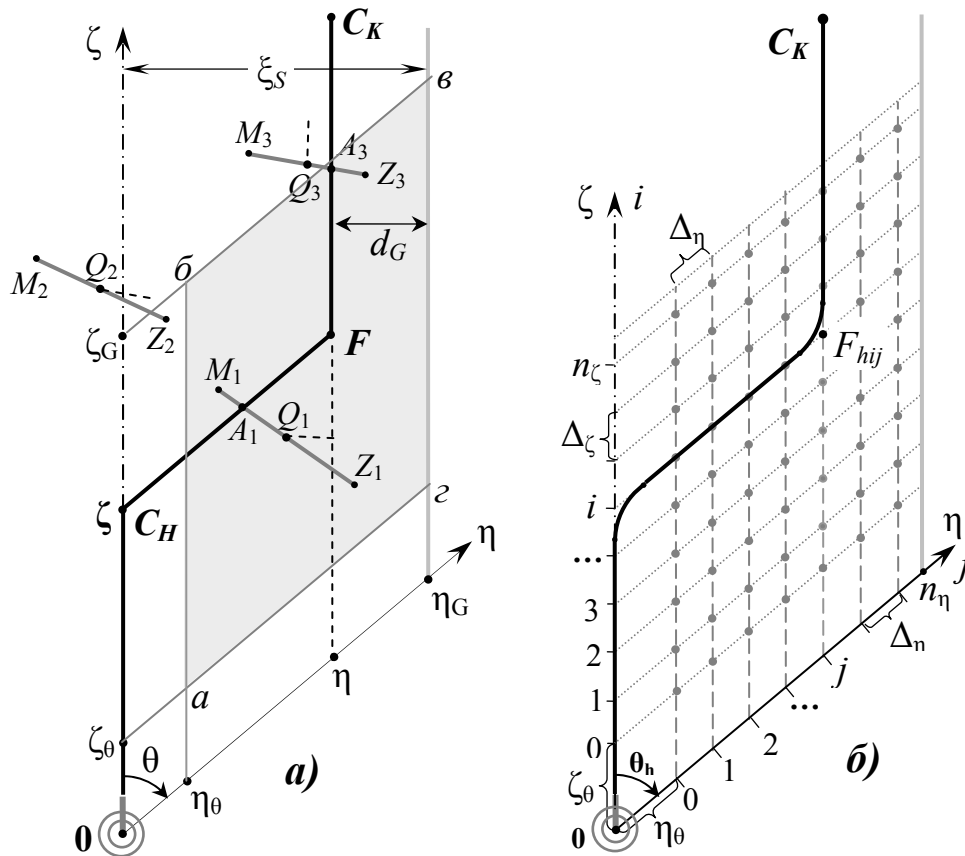


Рис. 7.16. К расчету оптимального В-маневра

Охарактеризуем теперь границы интервала η . В-маневр с заданным углом уклонения θ может быть нормально выполнен, когда величина смещения по оси 0η (см. рис. 7.5) не меньше значения $2 \cdot S_\theta$. Поэтому целесообразно назначить

$$\eta_\theta = 2 \cdot S_\theta.$$

Вторая граница η_G определяется шириной ξ_S полосы ОДМ

$$\eta_G = \xi_S / \sin\theta.$$

Количество возможных позиций точки F в выделенной области (7.22) является бесконечным. Для поиска оптимального В-маневра эта область квантуется, т.е. представляется конечным числом положений, взятых через определенные интервалы приращений Δ_θ , Δ_ζ , Δ_η координат θ , ζ , η :

$$\theta_h = \theta_0 + h \cdot \Delta_\theta, \quad \zeta_i = \zeta_0 + i \cdot \Delta_\zeta, \quad \eta_j = \eta_\theta + j \cdot \Delta_\eta, \quad (7.23)$$

где $h = 0, 1, 2, \dots, n_\theta$, $i = 0, 1, 2, \dots, n_\zeta$, $j = 0, 1, 2, \dots, n_\eta$.

Значения n_θ , n_ζ , n_η находятся по формулам:

$$n_\theta = INT\left(\frac{\theta_G - \theta_0}{\Delta_\theta}\right), \quad n_\zeta = INT\left(\frac{\zeta_G - \zeta_\theta}{\Delta_\zeta}\right), \quad n_\eta = INT\left(\frac{\eta_G - \eta_\theta}{\Delta_\eta}\right);$$

где функция INT дает целую часть аргумента.

Пример дискретных положений точки F при одном значении $\theta = \theta_h$ показан на рис. 7.16,б. Если, например, взять $\theta_0 = 30^\circ$, $\theta_G = 140^\circ$, $D_{и} = 10^0$ ($n_\theta = 11$); $\Delta_\zeta = \Delta_\eta = s_m$, $n_\zeta = 19$, $n_\eta = 19$, то количество позиций F (возможных вариантов В-маневра) будет равно

$$N = (n_\theta + 1) \cdot (n_\zeta + 1) \cdot (n_\eta + 1) = 12 \cdot 20 \cdot 20 = 4800.$$

Перебрав в этом случае 4800 вариантов В-маневра с оценкой эффективности каждого, можно найти из них оптимальный.

Метод поиска оптимального В-маневра. При рациональной величине интервалов дискретности Δ_θ , Δ_ζ , Δ_η количество возможных позиций F_{hij} определяющей В-маневр точки F в области (7.22) не является слишком большим. Это позволяет, учитывая простоту выражений для расчета критерия качества, выполнить поиск оптимального маневра **методом перебора**. На современных компьютерах затрачиваемое на решение этой задачи время обычно не превышает 5 с.

Согласно методу перебора для каждой из возможных позиций F_{hij} в области (7.22) определяется вариант расхождения, включающий три участка

- от текущего места до начала уклонения от маршрута;
- перемещения по линии уклонения;
- движения исходным курсом после уклонения.

Длина последнего отрезка берется равной расстоянию, проходимому судном оператора за время $1,2 \cdot t^{sr}$, где t^{sr} - рациональная для рассматриваемых условий граница безопасных ТСРА.

Пример одного из перебираемых вариантов пути расхождения при В-маневре показан на рис. 7.16,б жирной линией.

Для оценки эффективности маневра может, например, использоваться подход, представленный в параграфе 6.4. Согласно ему значение показателя эффективности получается объединением частных критериев: *безопасности*, *экономичности* и *соответствия МППСС-72*.

Из перебираемых вариантов В-маневра **оптимальным считается тот, у которого значение критерия качества максимально**.

8. ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ВЫПОЛНЕНИЕМ ЦИРКУЛЯЦИИ

8.1. Задача определения маневра

При допустимых углах уклонения вправо или влево длина метки ограничения B -маневра главной «целью» может оказаться очень большой. Это свидетельствует о том, что, смещаясь в эту сторону, разойтись с ГЦ невозможно или нерационально. Когда в другую сторону изменение курса опасно, нередко наилучшим действием является циркуляция в безопасную сторону [32].

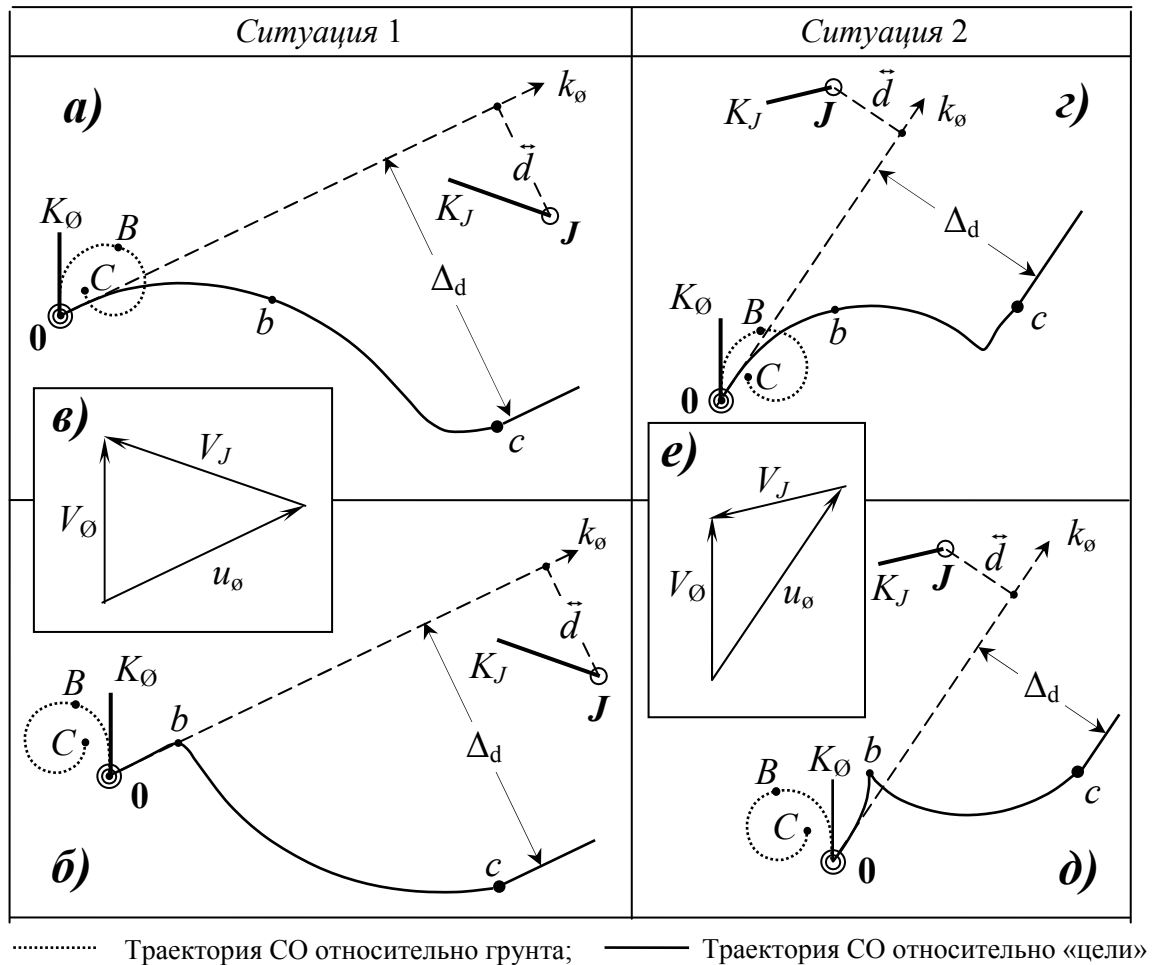


Рис. 8.1. Траектории движения СО относительно грунта и «цели»

При выборе циркуляции следует анализировать траекторию судна оператора как относительно грунта, так и «цели», с которой расходится. Для двух ситуаций, в которых «цель» сохраняет курс и скорость, такие траектории показаны на рис. 8.1,а,б и 8.1,г,д, где

0 - судно оператора;

J, K_J, V_J - номер «цели», ее курс и скорость;

$K_{Ш}$, $V_{Ш}$ и $k_{Ш}$, $u_{Ш}$ - курс, скорость СО на момент начала циркуляции по отношению к грунту и СЦ;
 C и c - точка окончания маневра на истинном и относительном пути СО;
 B и b - произвольная точка на истинном и относительном пути СО;
 Δ_d - изменение ДСРА в результате маневра.

«Треугольники скоростей», соответствующие движению судов перед циркуляцией для рассматриваемых ситуаций представлены на рис 8.1, *в* и *е*.

Особенностью циркуляции является независимость Δ_d от момента ее начала. Здесь считается, что маневр начинается до предельной точки, после которой его инициация не обеспечивает безопасного расхождения. Увеличение изменения ДСРА достигается уменьшением угла руля, с которым выполняется циркуляция (увеличением времени маневра τ_M).

При планировании циркуляции для устранения угрозы столкновения необходимо определить:

- Δ_d по отношению к главной «цели» и достаточность его для расхождения на дистанции, не меньшей d^S ;
- координаты предельной точки начала циркуляции для безопасного расхождения с ГЦ.
- степень риска столкновения с другими «целями» после циркуляции;
- наличие опасности чрезмерного сближения с лимитирующими «целями» в процессе выполнения маневра.

Таблица 8.1. Массив значений параметров движения судна при циркуляции

τ , сек.	ξ	ζ	θ	V	S
0	0	0	θ_0	V_0	0
1	ξ_1	ζ_1	θ_1	V_1	S_1
2	ξ_2	ζ_2	θ_2	V_2	S_2
...
<i>i</i>	ξ_i	ζ_i	θ_i	V_i	S_i
...
τ_M	ξ_M	ζ_M	θ_M	V_M	S_M

При решении этих задач используется полученный по математической модели массив значений параметров движения судна (табл. 8.1), характеризующий их изменение в процессе циркуляции. Значения этого массива при нормальной погоде зависят от загрузки судна, его скорости, выбранного угла руля β (по умолчанию $\beta = 15^0$). Чтобы не загружать компьютер СПС излишними расчетами, рационально получать массив данных циркуляции эпизодически - только при изменении режима хода или при назначении другого значения β .

8.2. Изменение ДСРА при циркуляции

Задача рассматривается при условии, что маневр инициируется до предельной точки его начала. Для получения решения выполняются следующие операции.

1) По математической модели судна (с учетом его скорости $V_{Ш}$ перед циркуляцией и выбранного угла перекладки руля β) рассчитываются точки P_i циркуляционной траектории с регистрацией времени τ_i прибытия в них, начиная от момента перекладки руля (точка A) до точки C поворота на 360° , которой соответствует время τ_M выполнения циркуляции в целом.

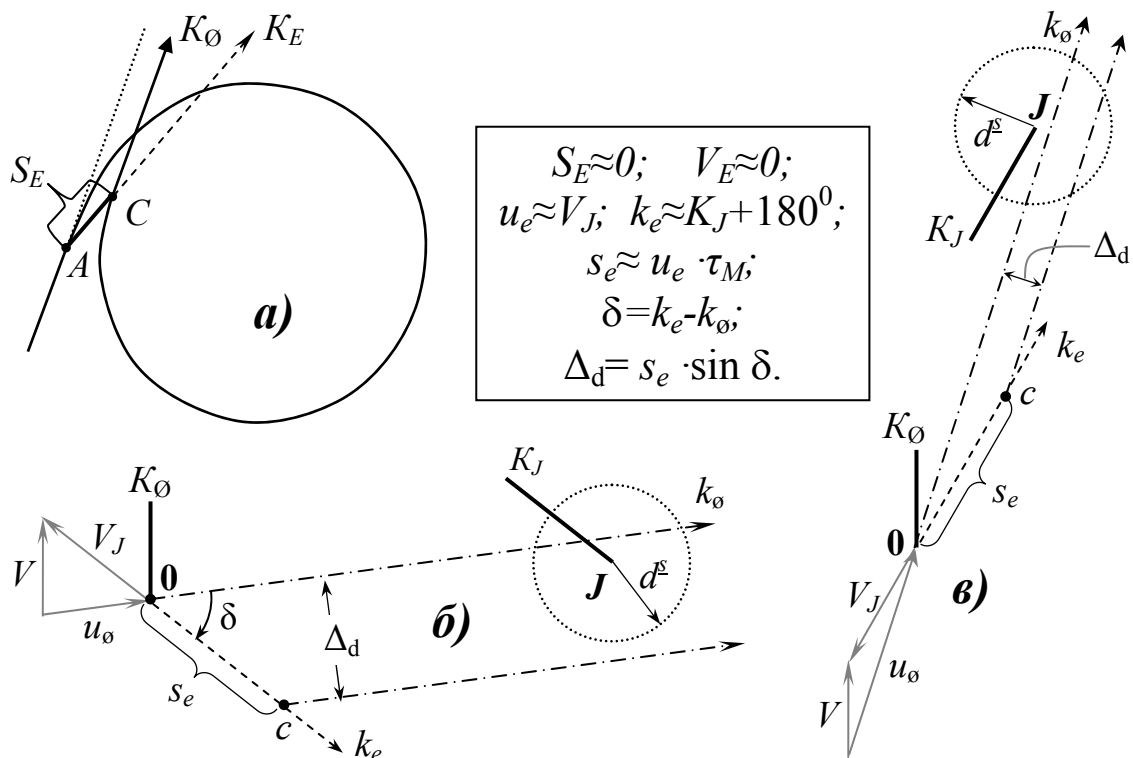


Рис. 8.2. К определению изменения ДСРА

2) Траектория циркуляции заменяется эквивалентным по времени прямым отрезком AC (рис. 8.2,а). Длина S_E этого отрезка и направление K_E перемещения по нему рассчитываются по координатам точек A , C . Скорость хода по этому отрезку принимается равной

$$V_E = S_E / \tau_M. \quad (8.1)$$

3) Вычисляются элементы $k_{Ш}$, $u_{Ш}$ и k_e , u_e движения СО относительно «цели» по ее курсу, скорости и кинематическим параметрам судна оператора ($K_{Ш}$, $V_{Ш}$ и K_E , V_E).

4) По значениям u_e и τ_M определяется пройденное в относительном движении по курсу k_e расстояние (см. рис. 8.2,б)

$$s_e = u_e \cdot \tau_M. \quad (8.2)$$

5) Рассчитывается изменение Δ_d (см. рис. 8.2,б) дистанции кратчайшего сближения за время циркуляции

$$\Delta_d = s_e \cdot \sin \delta, \quad (8.3)$$

где $\delta = k_e - k_{ш}$.

6) Находится значение ДСРА (\vec{d}_μ), которое будет после маневра

$$\vec{d}_\mu = ABS(\Delta_d \pm \vec{d}), \quad (8.4)$$

где \vec{d} - дистанция кратчайшего сближения до циркуляции.

Знак «плюс»/«минус» в формуле соответствует ситуации, когда при условии сохранения курса и скорости судно оператора пересечет курс СЦ «по корме»/«по носу».

Если $\vec{d}_\mu \geq d^s$, то маневром достигается цель расхождения.

Ввиду малости значения S_E (см. рис. 8.2,а) обычно оно принимается равным нулю. При таком допущении получается упрощенное решение, которое приведено в рамке на рис. 8.2.

ПРИМЕЧАНИЕ. *Циркуляция не является эффективным действием для расхождения, когда приближающаяся к судну оператора опасная «цель» находится у него на малом курсовом угле ($q \approx K - k_{ш}$). В этой ситуации изменение ДСРА при циркуляции мало (см. рис. 8.2,в). Такое сближение наблюдается, когда курс СО близок к контркурсу «цели» либо скорость «цели» значительно меньше скорости СО. В этом случае время до опасного сближения при выполнении маневра увеличивается.*

8.3. Приближенное определение предельной точки начала циркуляции

Задач состоит в нахождении предельной точки, начало маневра в которой еще приводит к безопасному расхождению с «целью» на дистанции $\vec{d} \geq d^s$.

Алгоритм приближенного расчета. При поиске предельного начала A циркуляции (рис. 8.3) для расхождения с опасной «целью» обычно считают,

что траектория СО не должна попадать в полосу движения «цели» с границами, отстоящими от ее линии пути на расстоянии d^S [23].

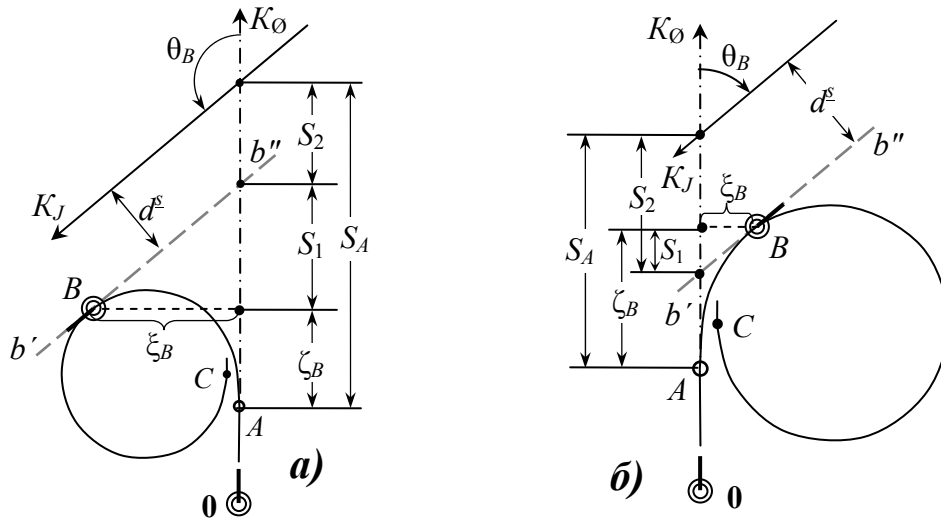


Рис. 8.3. К расчету предельной точки начала циркуляции

С учетом этого обстоятельства точка A определяется расстоянием S_A до точки пересечения линий курсов СО и СЦ. Оно (см. рис. 8.3) состоит из трех отрезков:

$$S_A = \zeta_B - S_1 + S_2. \quad (8.5)$$

В этом выражении

$$S_2 = d^S / \sin\theta_B, \quad S_1 = |\xi_B| \cdot \text{ctg}\theta_B,$$

где θ_B - угол поворота на курс, параллельный курсу «цели».

Значения ξ_B , ζ_B , τ_B в массиве данных циркуляции (табл. 8.1), являются координатами точки B , в которой значение курса относительно грунта наиболее близко к контркурсу «цели» (если циркуляция планируется в ее сторону, см. рис. 8.3,б), или к курсу «цели» (если СО намерено совершать маневр в противоположную сторону, рис. 8.3,а).

Погрешность расчета. Приведенный приближенный метод основан на предположении, что циркуляция, инициированная в предельной точке, касается отрезка $b'b''$ (см. рис. 8.3), параллельного линии курса «цели» и отстоящего от нее на расстоянии d^S . Нетрудно установить, что такое предположение не является условием, при котором обеспечивается расхождение с «целью» точно на заданной дистанции.

Суда разойдутся на $\vec{d} = d^s$, когда траектория движения СО относительно «цели» будет касаться окружности радиусом d^s с центром в месте «цели».

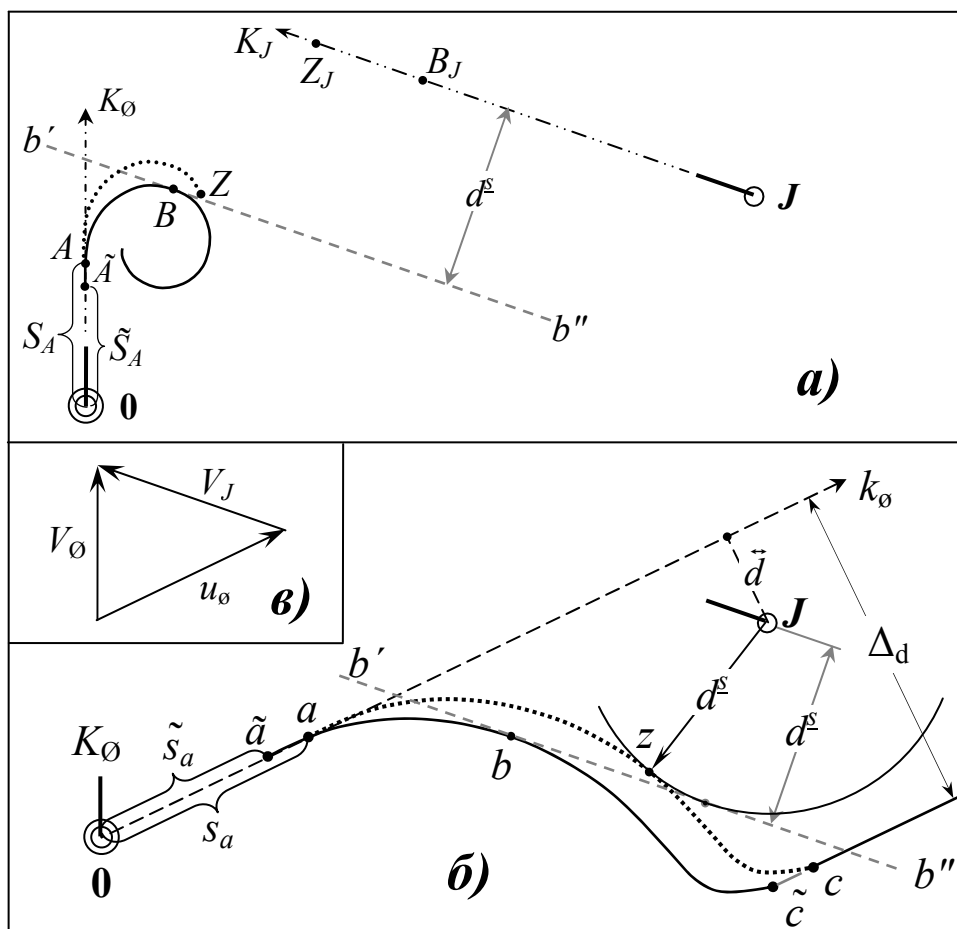


Рис. 8.4. К оценке погрешности приближенного расчета

Отличие результатов приближенного и точного методов характеризуется на рис. 8.4. На нем для одной из ситуаций сближения судов, в которой СО намечает циркуляцию в предположении, что «цель» будет сохранять курс и скорость, представлено движение судов относительно грунта (рис. 8.4,а) и перемещение СО относительно «цели» (рис. 8.4,б).

На рис. 8.4,а циркуляция с предельным началом \tilde{A} , найденным приближенно, отображена сплошной линией. Символом B обозначена точка касания циркуляции и отрезка $b'b''$, параллельного линии курса «цели» и отстоящего от нее на расстоянии d^s . В момент прихода СО в точку B «цель» окажется в позиции B_J .

Точная граница начала безопасных циркуляций на рис. 8.4,а обозначена A . Отвечающая этому началу циркуляция, приводящая к расхождению с «целью» на дистанции d^s , показана на рис. 8.4,а точечной линией. В позициях Z и Z_J СО и «цель» будут в момент кратчайшего сближения.

На рис. 8.4,б представлено перемещение СО относительно «цели». Позициям \tilde{a} , \tilde{c} соответствуют приближенно полученные начало и конец циркуляции (рис. 8.4,а), а точкам a , c - найденные точно.

Точке b касания траектории $\tilde{a}\tilde{c}$ и отрезка $b'b''$ соответствует место B на рис. 8.4,а. На показанной точечной линии траектории ac малой буквой z обозначена позиция, в которой расстояние между судами будет кратчайшим и равным d^s . Точка z соответствует месту Z на схеме движения судов относительно грунта.

Отрезок $A\tilde{A}$ является погрешностью приближенного метода расчета.

8.4. Корректное нахождение границы маневра

Уточненный алгоритм расчета предельной точки начала циркуляции поясняется рисунком 8.5. Траектория судна оператора при маневре на схеме истинного (рис. 8.5,а) и относительного (рис. 8.5,б) движения показана сплошной линией. Предельная позиция начала циркуляции на этих рисунках отмечена соответственно точками A и a . Положение судна оператора и «цели» на момент кратчайшего сближения d^s на схеме истинного перемещения судов обозначено Z и Z_J , а на схеме относительного движения этому моменту отвечает позиция z судна оператора.

Принцип определения предельной точки начала циркуляции. Нахождение точки A сводится к расчету времени τ_z от момента начала циркуляции, требуемого для прихода в точку Z (см. рис. 8.5,а).

Для получения решения этой задачи выбирается функция $f(\tau)$, которая при $\tau = \tau_z$ обращается в ноль. В результате τ_z находится как корень уравнения

$$f(\tau) = 0. \quad (8.6)$$

Определение функции $f(\tau)$ и процедуры расчета ее значений. В качестве подлежащего решению уравнения взято выражение, которое при $\tau = \tau_z$ равно нулю

$$f(\tau) = r_\gamma - r_\delta. \quad (8.7)$$

Составляющие r_γ и r_δ этой функции показаны на рис. 8.5,б.

Для определения процедуры расчета $f(\tau)$ возьмем произвольное значение τ в интервале $0 \div \tau_M$ времени, отсчитываемого от момента начала циркуляции. Значению τ на схемах истинного и относительного движения СО (см. рис. 8.5,а,б) отвечают точки P и p .

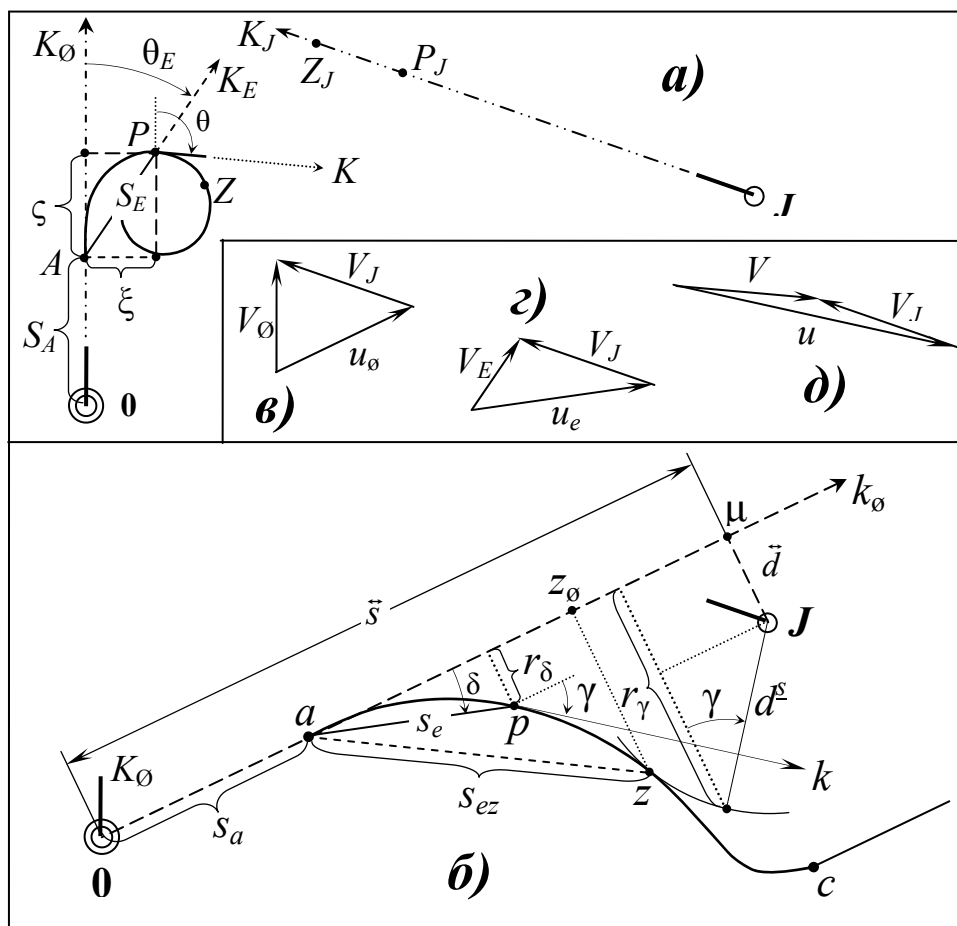


Рис. 8.5. К расчету предельной точки начала маневра

Соответствующее τ значение функции $f(\tau)$ находится в следующей последовательности.

А) Из массива полученных по математической модели данных циркуляции (см. табл. 8.1) по значению τ , выбираются координаты ξ , ζ точки P и соответствующий этой точке угол поворота θ .

Б) Находится курс судна оператора относительно грунта в точке P

$$K = K_{III} + \theta. \quad (8.8)$$

В) Криволинейный участок AP циркуляционной траектории заменяется эквивалентным прямым отрезком AP . Находятся длина S_E этого отрезка и элементы движения СО по нему

$$\left. \begin{aligned} S_E &= \sqrt{\xi^2 + \zeta^2} \\ K_E &= K_{III} + \theta_E \\ V_E &= S_E / \tau \end{aligned} \right\}, \quad (8.9)$$

где $\theta_E = \text{arctg}(\xi/\zeta)$.

Г) Из «треугольников скоростей» (8.5,в,з,д) определяются параметры ($k_{\text{ш}}$ и $u_{\text{ш}}$, k_e и u_e , k и u) относительного перемещения судна оператора, соответствующие его истинным элементам движения ($K_{\text{ш}}$ и $V_{\text{ш}}$, K_E и V_E , K и V).

Д) Рассчитывается относительное расстояние s_e , проходимое по линии курса k_e за время τ

$$s_e = u_e \cdot \tau. \quad (8.10)$$

Е) Находятся разности между курсами k_e , $k_{\text{ш}}$ и между курсами k и $k_{\text{ш}}$

$$\delta = k_e - k_{\text{ш}} \quad \gamma = k - k_{\text{ш}} \quad (8.11)$$

Ж) Определяются составляющие функции $f(\tau)$ и ее значение

$$r_\delta = s_e \cdot \sin\delta, \quad r_\gamma = d^s \cdot \cos\gamma \pm \vec{d}, \quad f(\tau) = r_\gamma - r_\delta; \quad (8.12)$$

где знак «плюс» отвечает пересечению судном оператора курса «цели» по носу при отсутствии маневра, а «минус» - пересечению этого курса по корме.

Решение уравнения. Уравнение $f(\tau) = 0$ является нелинейным и не имеет аналитического решения. Поэтому для нахождения его корня τ_z применяется численный метод Ньютона. Начальным приближением при расчете берется значение τ_B , найденное упрощенным методом.

Расчет координат точки A . По формулам (8.10), (8.11) определяются соответствующие τ_z значения δ_z , γ_z , s_{ez} .

Вычисляется относительное расстояние s_a по линии курса $k_{\text{ш}}$ от места судна оператора до точки начала циркуляции (см. рис. 8.5,б)

$$s_a = \vec{s} - d^s \cdot \sin\gamma_z - s_{ez} \cdot \cos\delta_z. \quad (8.13)$$

По значению s_a рассчитывается расстояние S_A (см. рис. 8.5,а) от текущего места судна оператора до точки A , которая является предельным местом начала циркуляции

$$S_A = V_{\text{ш}} \cdot s_a / u_{\text{ш}}$$

По координатам текущего места СО, его курсу $K_{Ш}$ и значению S_A находятся координаты предельной точки начала циркуляции.

ПРИМЕЧАНИЕ. Определять границу безопасного маневра можно приближенным методом, так как его погрешность не ухудшает безопасности расхождения (она увеличивает ДСРА).

8.5. Оценка безопасности планируемой циркуляции

Прогноз безопасности ситуации на момент окончания маневра поясняется на примере, характеризуемом рис. 8.6.

Для оценки сложившейся до маневра ситуации (рис. 8.6,*а*) выделена ОДМ₀, в которой представлены метки ограничения В-маневра тремя «целями». Анализ этих меток показывает, что «цель» №2 является опасной.

Допустим, для расхождения выбрана циркуляция влево, представленная на рис. 8.6,*б*. Для оценки ее результата образована дополнительная ОДМ₁, опорная точка которой находится в месте окончания маневра. Торцевые границы ОДМ₁ показаны на рисунке пунктиром. В этой области по прогнозируемым на конец намечаемого маневра значениям координат СО и СЦ построены метки ограничения В-маневра «целями», когда такой маневр будет планироваться после циркуляции. Анализ этих меток позволяет установить, что после циркуляции опасности столкновения с «целями» нет.

Для оценки результата циркуляции вместо меток ограничения В-маневра «целями», могут использоваться метки их точек кратчайшего сближения с СО. Пример применения МТКС для характеристики безопасности ситуации после маневра приведен в параграфе 9.3 при рассмотрении предупреждения столкновения изменением скорости.

Прогноз возможного в периоде циркуляции чрезмерного сближения. При планировании расхождения, необходимо убедиться, что в процессе выполнения намечаемой циркуляции не будет чрезмерного сближения с лимитирующими «целями». Например, если рассмотреть в динамике представленный на рис. 8.6,*б* маневр, можно определить, что он небезопасен. Результаты такого проигрывания представлены на рис. 8.6,*в,г,д*, на которых *А, С* - точки начала и конца запланированной для расхождения циркуляции.

В момент поворота, когда судно оператора будет в точке P_1 (рис. 8.6,*в*), расстояние до «цели» №1 становится меньше заданной границы безопасности d^s . В точке P_2 (рис. 8.6,*г*) дистанция между судами наименьшая. Когда СО окажется в точке P_3 (рис. 8.6,*д*), расстояние до «цели» №1 снова становится больше d^s .

Отсюда следует, что при планировании расхождения следует убедиться, существует ли в процессе выполнения намечаемой циркуляции угроза столкновения с лимитирующими «целями». О наличии такого риска СПС должна предупреждать оператора.

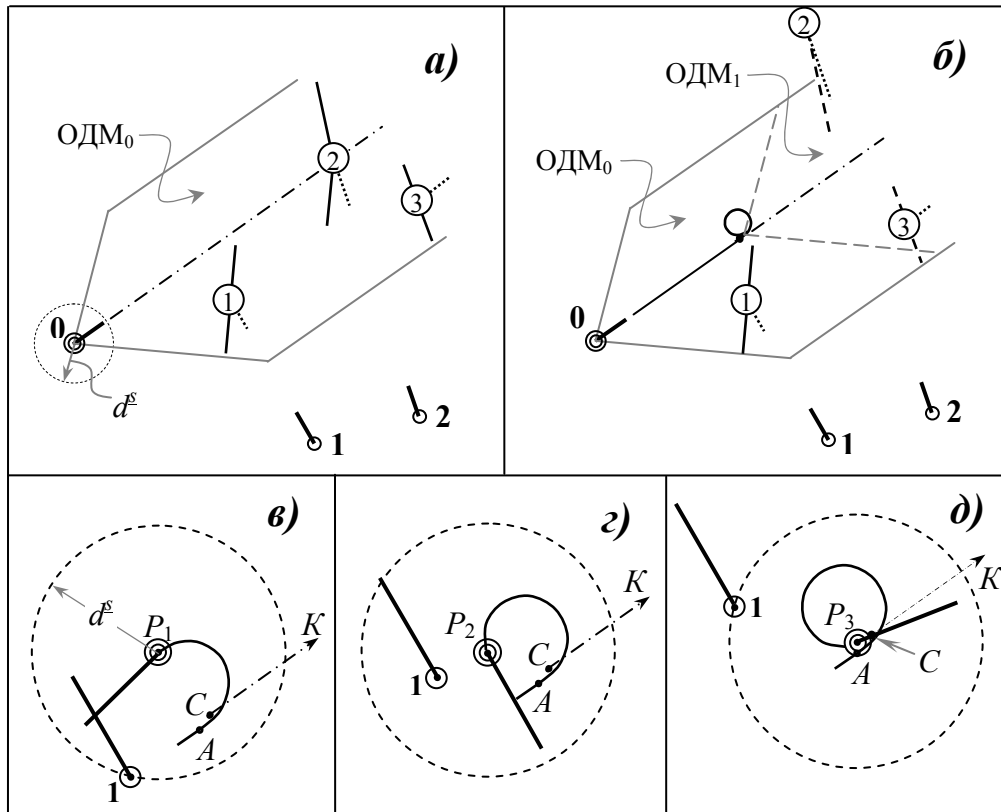


Рис. 8.6. К оценке безопасности циркуляции

Прогноз сближения СО с «целями» в процессе планируемого маневра может быть выполнен следующим образом. Продолжительность циркуляции τ_M делится на n_τ интервалов (на рис. 8.7 - $n_\tau = 12$)

$$\Delta_\tau = \tau_M / n_\tau. \quad (8.14)$$

Из массива полученных по математической модели данных планируемой циркуляции на моменты $\tau_i = i \cdot \Delta_\tau$ выбираются координаты ξ_i , ζ_i , где $i = 0, 1, 2, \dots, n_\tau$.

При разработке программного обеспечения СПС в обработчик события *OnMouseMove* вводится процедура расчета расстояний от СО до «целей» в моменты

$$t_i = t_0 + \tau_i. \quad (8.15)$$

В результате **при каждом изменении координат** курсора в поле для прогнозирования циркуляции (см. рис. 8.7,а) будут выполняться следующие операции.

1) По положению курсора определяется точка *A* начала циркуляции. По расстоянию от места судна оператора до этой точки рассчитывается момент t_0 прихода в нее.

2) По формуле (8.15) вычисляются моменты t_i прихода СО в выделенные на циркуляции точки.

3) По координатам точки A и соответствующим τ_i значениям ξ_i, ζ_i (табл. 8.1) находятся координаты судна оператора X_{0i}, Y_{0i} на моменты t_i .

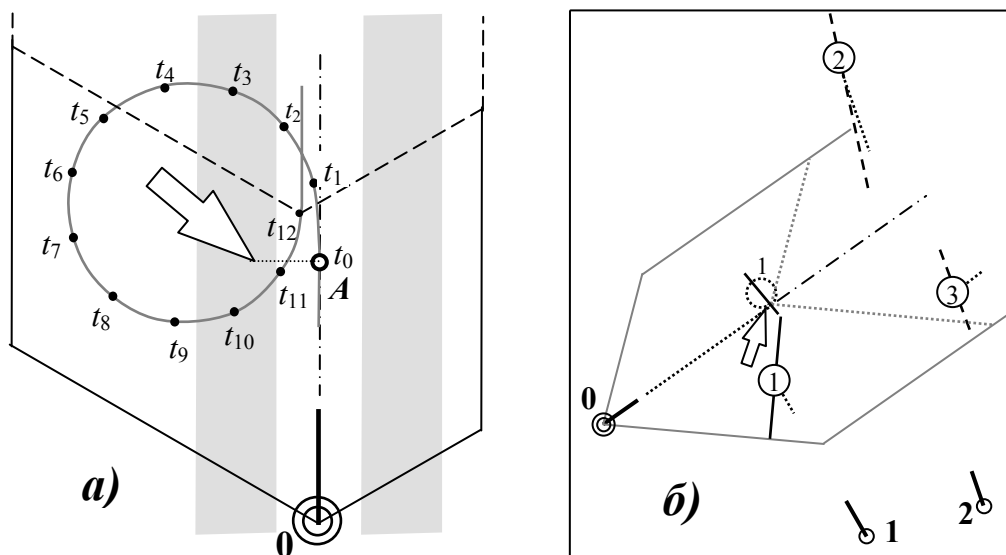


Рис. 8.7. К оценке опасности столкновения в процессе циркуляции

4) На моменты t_i прогнозируются координаты X_{Ji}, Y_{Ji} положения «целей», где $J = 1, 2, \dots, n$ (n - количество целей).

5) По значениям X_{0i}, Y_{0i} и X_{Ji}, Y_{Ji} рассчитывается расстояние D_{iJ} до каждой «цели». Если D_{iJ} окажется меньше заданной дистанции кратчайшего сближения, то циркуляция с началом в точке A не будет безопасной.

Для предупреждения об угрозе, возникающей в процессе выполнения намечаемого маневра, могут использоваться разные способы. Например, на рис. 8.7,б для выделения намечаемой курсором циркуляции, в процессе которой возникнет риск столкновения, ее траектория перечеркивается отрезком. У этого отрезка показывается номер представляющей угрозу «цели». При наличии такой опасности начало циркуляции нужно искать на другом участке пути СО.

Пример планирования курсором циркуляции для расхождения представлен на рис. 8.8,б для ситуации, характеризуемой на рис. 8.8,а.

Выбираемое начало циркуляции должно находиться перед предельной точкой ее инициации на отрезке пути судна оператора, где его действия будут считаться заблаговременными. Для оценки результата маневра показывается (см. рис. 8.8,б) акватория ОДМ₁ с каркасом меток для выбора следующего за циркуляцией B -маневра. Как следует из рисунка, в процессе выполнения и на момент окончания намеченной циркуляции опасности столкновения нет. Поэтому маневр с началом в показанном курсором месте

вводится в план движения судна оператора. Этот план может выполняться судоводителем либо автоматически системой вождения судна по маршруту.

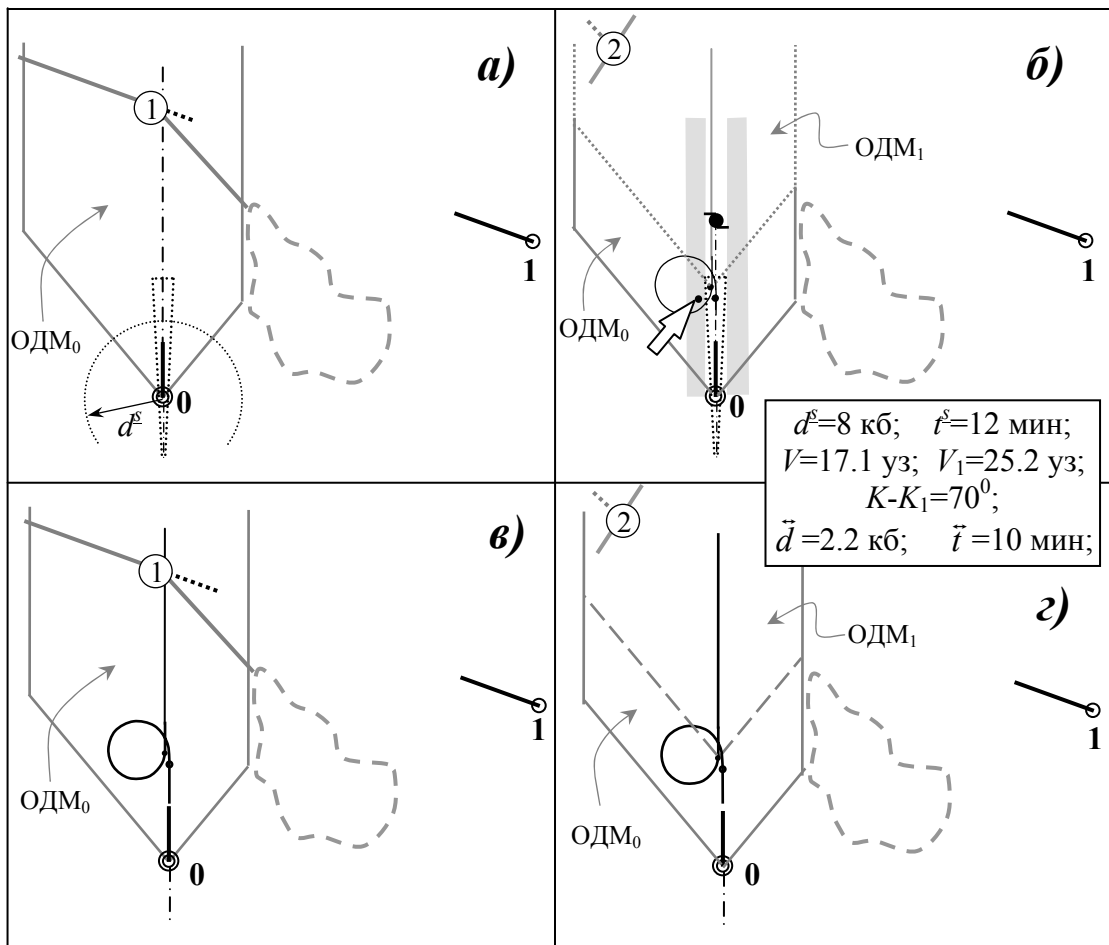


Рис. 8.8. Пример выбора циркуляции для расхождения

В процессе выполнения плана можно отображать либо одну область маневра и движения ОДМ₀ (рис. 8.8,в), либо две - ОДМ₀ и ОДМ₁ (рис. 8.8,г).

9. РАСХОЖДЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЕМ СКОРОСТИ

9.1. Характеристика маневров скоростью

Маневр скоростью в общем случае не является основным для расхождения и должен выполняться, если изменение курса малоэффективно либо затруднено вследствие ограниченности района маневрирования (акватория порта, узкость, фарватер) или наличия препятствий со стороны других судов. Этот маневр требует заблаговременной подготовки энергетической установки к изменению хода судна. Ситуации, в которых двигатель должен быть переведен в маневренный режим, оговариваются в руководствах по штурманской службе.

При выполнении рейсов стараются идти полным ходом или, при необходимости, сниженной максимальной безопасной скоростью. Поэтому в преобладающем большинстве случаев для устранения угрозы столкновения скорость меняется в меньшую сторону. Увеличение хода обычно используется после расхождения для возвращения к исходной скорости движения. Учитывая это, ниже считается, что для предупреждения столкновения судно оператора снижает ход.

Особенностью рассматриваемого маневра является большая продолжительность, что сказывается на точности прогноза ситуации на момент его окончания. Такой маневр должен начинаться раньше, чем поворот, и, чтобы быть заметным, выполняться переводом телеграфа сразу на 2-3 хода. При изменении курса судно остается управляемым, что оставляет возможность принять дополнительные меры для нейтрализации неблагоприятного маневра «цели» или других обстоятельств. При активном торможении управляемость существенно ухудшается, а когда используется режим заднего полного хода, судно обычно становится неуправляемым.

Маневр скоростью, как и циркуляция, неэффективен, когда приближающаяся опасная «цель» находится у судна оператора на небольшом курсовом угле [35]. Это наблюдается, когда курс судна оператора близок к контркурсу опасной «цели» либо когда ее скорость значительно меньше скорости СО.

В отличие от циркуляции, при маневре скоростью ДСПА опасной «цели» увеличивается с ростом расстояния от точки инициации маневра до предельной точки его начала.

При выборе для расхождения изменения скорости следует определить:

- предельную точку начала маневра для безопасного расхождения с главной «целью»;
- степень риска столкновения с другими «целями» на момент окончания маневра и в процессе его выполнения.

При решении этих задач используется полученный по математической модели массив данных (табл. 9.1), отражающих изменение кинематических параметров СО в процессе маневра. При нормальной погоде для судна с

конкретной загрузкой значения этого массива определяются исходной скоростью $V_{Ш}$, новым значением хода V_M , режимом работы двигателя (РРД) при переходе к V_M . Чтобы не загружать компьютер СПС излишними расчетами, рационально получать характеризующий массив эпизодически, только в случаях изменения его данных.

Таблица 9.1. Массив значений параметров движения судна в процессе изменения скорости

τ , сек.	ξ	ζ	V	S
0	0	0	V_0	0
1	ξ_1	ζ_1	V_1	S_1
2	ξ_2	ζ_2	V_2	S_2
...
<i>i</i>	ξ_i	ζ_i	V_i	S_i
...
τ_M	ξ_M	ζ_M	V_M	S_M

9.2. Общая часть задач определения границы безопасных маневров

Задача нахождения предельной точки начала маневра скоростью ставится следующим образом. Судно оператора, движущееся курсом $K_{Ш}$ и скоростью $V_{Ш}$, сближается с идущей постоянным курсом K_J и скоростью V_J «целью» J так, что существует угроза столкновения. Для ее устранения СО намерено снизить V до значения V_M с использованием выбранного РРД.

Требуется определить граничную точку на линии пути СО, которая разделяет области начала безопасных и опасных маневров расхождения с «целью».

Выделяют два типа поставленной задачи [35]. Первый отвечает ситуации, когда при инициации маневра в граничной точке СО окажется на кратчайшем расстоянии до «цели» после его окончания, а второй – когда это происходит в процессе изменения скорости.

Решение названных типов задачи имеет общую часть. Для ее пояснения используется схема истинного и относительного движения СО при расхождении изменением V , представленная на рис. 9.1,а. В общую процедуру входят следующие операции.

1) По математической модели с выбранным шагом изменения τ получают значения параметров (см. табл. 9.1) движения судна в процессе торможения от $V_{Ш}$ до V_M , а также полное время τ_M маневра и пройденное за это время расстояние S_M .

2) По S_M , τ_M рассчитывается средняя скорость V_E на участке торможения

$$V_E = S_M / \tau_M. \quad (9.1)$$

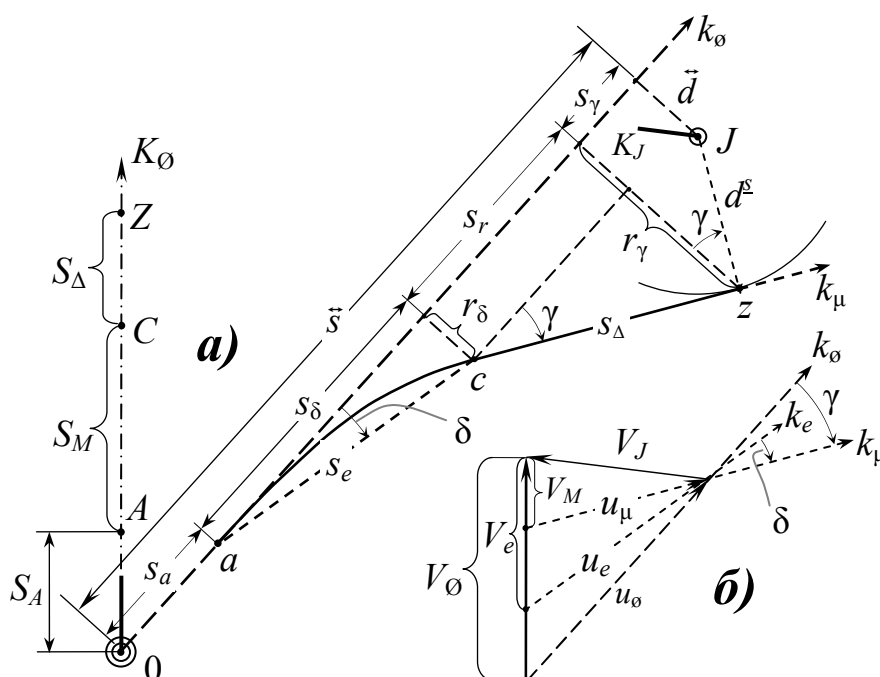


Рис. 9.1. Пояснение к решению задачи первого типа

3) По значениям $K_{Ш}$ и $V_{Ш}$, $K_{Ш}$ и V_E , $K_{Ш}$ и V_M из «треугольников скоростей» (рис. 9.1,б) вычисляются параметры движения СО относительно «цели» ($k_{Ш}$ и $u_{Ш}$, k_e и u_e , k_{μ} и u_{μ}).

4) По элементам относительного движения СО определяются значения следующих параметров (см. рис. 9.1,а)

$$s_e = u_e \cdot \tau_M; \quad (9.2)$$

$$\delta = k_e - k_{Ш}; \quad (9.3)$$

$$\gamma = k_{\mu} - k_{Ш}; \quad (9.4)$$

$$\left. \begin{aligned} r_{\delta} &= s_e \cdot \sin \delta \\ s_{\delta} &= s_e \cdot \cos \delta \end{aligned} \right\}; \quad (9.5)$$

$$\left. \begin{aligned} r_{\gamma} &= d^S \cdot \cos \gamma \pm \vec{d} \\ s_{\gamma} &= d^S \cdot \sin \gamma \end{aligned} \right\}; \quad (9.6)$$

где знак «плюс» отвечает пересечению (при отсутствии маневра) курса «цели» по носу, а «минус» - по корме.

5) Находится разность

$$\Delta_r = r_{\gamma} - r_{\delta}.$$

В зависимости от нее определяется тип задачи ($\Delta_r \geq 0$ - первый тип; $\Delta_r < 0$ - второй тип).

9.3. Алгоритм задачи первого типа

Схема сближения судов, отвечающая первому типу задачи, представлена на рис. 9.1,*a*. Положение предельной точки начала маневра в этом случае находится следующим образом.

1) По алгоритму общей части решения задач первого и второго типа (см. параграф 9.2) рассчитываются $\delta, \gamma, s_e, s_\gamma, s_\delta, s_r, r_\gamma, r_\delta, \Delta_r$.

2) По значениям γ и Δ_r вычисляются (см. рис. 9.1,*a*) расстояния

$$\left. \begin{aligned} s_r &= \Delta_r \cdot \operatorname{tg} \gamma \\ s_\Delta &= \Delta_r / \sin \gamma \end{aligned} \right\}. \quad (9.7)$$

3) Находится время \tilde{t}_μ и расстояние S_Δ до СРА на момент окончания маневра

$$\left. \begin{aligned} \tilde{t}_\mu &= s_\Delta / u_\mu \\ S_\Delta &= V_M \cdot \tilde{t}_\mu \end{aligned} \right\}. \quad (9.8)$$

Здесь учитывается, что после окончания «предельного» маневра дистанция \vec{d}_μ кратчайшего сближения с «целью» должна быть равна $\vec{d}_\mu = d^s$.

4) Рассчитывается перемещение s_a по относительному курсу $k_{\text{ш}}$ от места судна до предельной точки a начала маневра

$$s_a = \vec{s} - s_\gamma - s_r - s_\delta. \quad (9.9)$$

5) Определяется время хода от текущего места до границы безопасных маневров

$$\Delta_{tA} = s_a / u_{\text{ш}}. \quad (9.10)$$

6) Рассчитывается расстояние от его текущего места судна оператора до точки A начала маневра

$$S_A = V_{\text{ш}} \cdot \Delta_{tA}.$$

7) По координатам текущего места судна оператора, его курсу $K_{\text{ш}}$ и значению S_A вычисляются координаты точки A .

8) Находится промежуток времени от текущего момента, через который судно оператора, инициирующее маневр в точке A , окажется в точке Z на кратчайшем расстоянии $\vec{d} = d^s$ от «цели»

$$\Delta_{tz} = \Delta_{tA} + \tau_M + \vec{t}_\mu. \quad (9.11)$$

9.4. Приближенное решение задачи второго типа

Решения рассматриваемой задачи и задачи первого типа аналогичны.

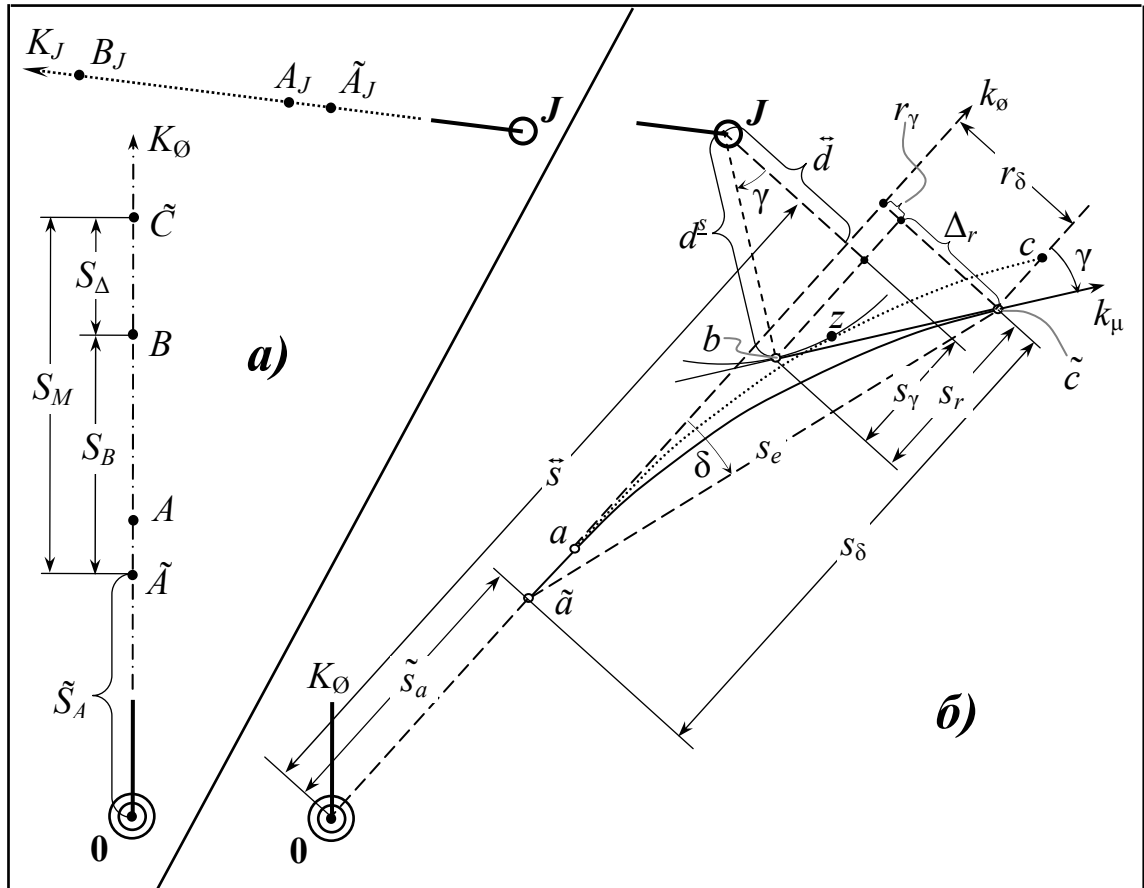


Рис. 9.2. Пояснение к приближенному решению

Здесь также считается, что если выбранный маневр начинается в предельной точке, то в момент его окончания расстояние кратчайшего сближения с «целью» (при условии дальнейшего движения СО постоянным курсом K_{III} и скоростью V_M) должно быть равно $\vec{d}_\mu = d^s$. Однако в отличие от задачи первого типа в рассматриваемом случае СРА соответствует *отрицательное* значение времени \vec{t}_μ кратчайшего сближения.

Алгоритм приближенного расчета предельного начала маневра характеризуется схемами перемещения судна оператора относительно грунта (рис. 9.2,а) и относительно «цели» (рис. 9.2,б).

На последнем рисунке начало и конец выбранного приближенным методом маневра обозначены \tilde{a} и \tilde{c} , а точка касания линии относительного курса k_{μ} с окружностью радиуса d^s с центром в месте «цели» - b .

Поставленная задача решается следующим образом.

1) По алгоритму общей части решения задач первого и второго типа (см. параграф 9.2) рассчитываются $\delta, \gamma, s_e, s_{\gamma}, s_{\delta}, s_r, r_{\gamma}, r_{\delta}, \Delta_r$.

2) На момент окончания маневра находится время кратчайшего сближения

$$\tilde{t}_{\mu} = s_{\Delta} / u_{\mu}, \quad (9.12)$$

где $s_{\Delta} = \tilde{c}b = \Delta_r / \sin \gamma$ (см. рис. 9.2,б).

3) Вычисляется расстояние S_{Δ} (см. рис. 9.2,а) от места конца маневра \tilde{C} до точки B , соответствующей b

$$S_{\Delta} = V_M \cdot \tilde{t}_{\mu}. \quad (9.13)$$

4) Рассчитывается дистанция от точки начала маневра \tilde{A} до позиции B

$$S_B = S_M - S_{\Delta}.$$

5) Используя массив данных намечаемого изменения V (см. табл. 9.1), по значению S_B определяется время τ_B от момента начала маневра до прихода в точку B и скорость V_B , которая будет в этой точке.

Отметим, что V_B - это скорость, до которой достаточно снизить ход, чтобы разойтись с «целью» на заданной дистанции d^s .

6) Определяется дистанция \tilde{s}_a по линии относительного курса $k_{\text{ш}}$ от текущего места судна до границы начала \tilde{a} маневра (см. рис. 9.2,б)

$$\tilde{s}_a = \tilde{s} - s_{\gamma} + s_r - s_{\delta}, \quad (9.14)$$

где $s_r = \Delta_r \cdot \text{tg} \gamma$

7) Находится интервал между текущим значением времени и моментом прихода СО в точку \tilde{a}

$$\Delta_{tA} = \tilde{s}_a / u_{\text{ш}} \quad (9.15)$$

8) Рассчитывается расстояние от текущего места судна оператора до предельной точки \tilde{A} начала маневра (см. рис. 9.2,а)

$$\tilde{S}_A = V_{\text{Ш}} \cdot \Delta_{tA}.$$

9) По координатам текущего места судна оператора, его курсу $K_{\text{Ш}}$ и значению \tilde{S}_A вычисляются координаты точки \tilde{A} .

10) Определяется промежуток между текущим значением времени и моментом, в который судно оператора будет на кратчайшем расстоянии $\tilde{d} \approx d^s$ от «цели»

$$\Delta_{tz} \approx \Delta_{tA} + \tau_M - \tilde{t}_\mu. \quad (9.16)$$

Погрешность приближенного метода. На рисунке 9.2,б точечной линией представлена относительная траектория СО с началом a и концом c , движение по которой приводит к расхождению с «целью» на дистанции d^s . Моменту кратчайшего сближения на этом пути соответствует позиция z . Это точка касания относительной траектории СО и окружности радиуса d^s с центром в месте «цели».

Расстояние между начальными точками a точечной и \tilde{a} сплошной траектории (в истинном движении это отрезок $A\tilde{A}$) является погрешностью расчета приближенным методом.

9.5. Строгое решение задачи второго типа

Алгоритм строгого расчета поясняется рисунком 9.3. Траектория судна оператора при маневре на схеме истинного (рис. 9.3,а) и относительного (рис. 9.3,б) движения показана сплошной линией. Граница безопасных маневров скоростью отмечена соответственно точками A и a . Положение судна оператора и «цели» на момент кратчайшего сближения d^s на схеме истинного перемещения судов обозначено Z и Z_J , а на схеме относительного движения отвечающее этому моменту место СО отмечено буквой z .

Принцип определения предельной точки начала изменения V . Нахождение точки A сводится к расчету интервала времени τ_z между моментами начала маневра и прихода СО в точку Z (см. рис. 9.3,а).

Для получения решения этой задачи выбирается функция $f(\tau)$, которая при $\tau = \tau_z$ обращается в ноль. При таком условии τ_z находится как корень уравнения

$$f(\tau) = 0. \quad (9.17)$$

Определение функции $f(\tau)$ и процедуры расчета ее значений. В качестве подлежащего решению уравнения взято выражение, которое при $\tau = \tau_z$ обращается в ноль

$$f(\tau) = r_\gamma - r_\delta.$$

Компоненты r_γ и r_δ этой функции показаны на рис. 9.3,б.

Для получения алгоритма расчета $f(\tau)$ берется произвольное значение τ в интервале $0 \div \tau_M$ времени, отсчитываемого от начала изменения скорости. Моменту τ на схемах истинного и относительного движения СО (см. рис. 9.3,а,б) отвечают точки P и p .

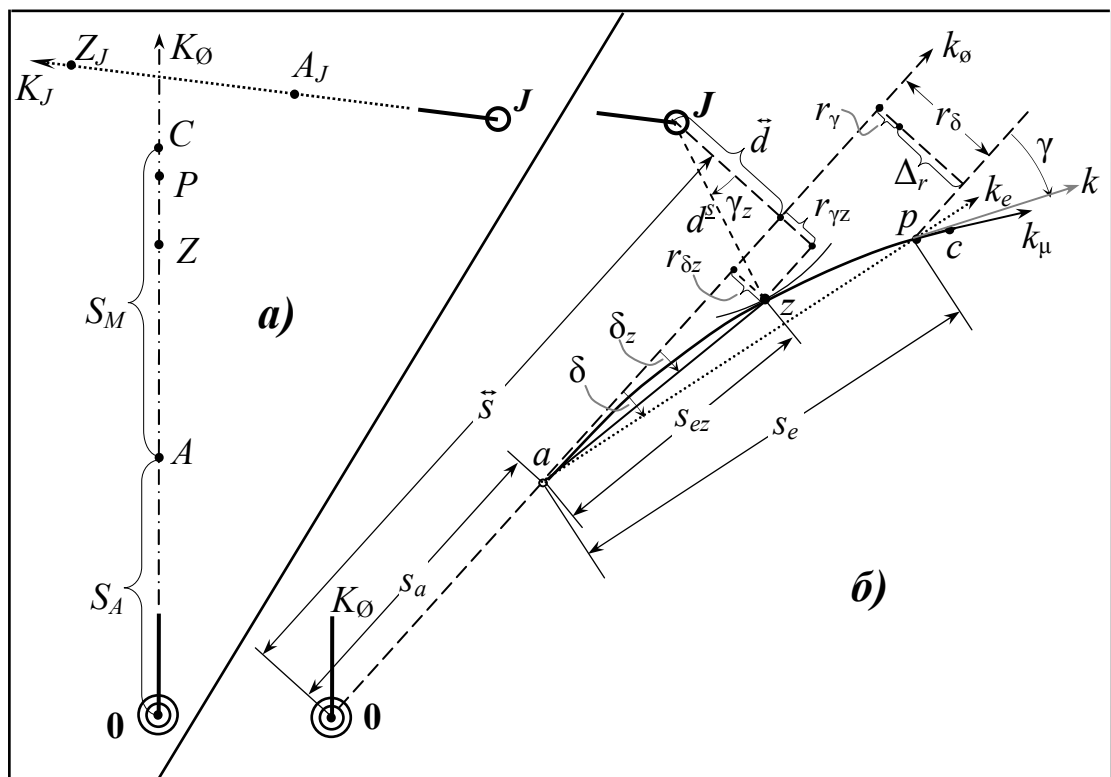


Рис. 9.3. Пояснение к точному решению задачи второго типа

Соответствующее τ значение функции $f(\tau)$ находится в следующей последовательности.

А) По алгоритму общей части решения задач первого и второго типа (см. параграф 9.2) рассчитываются $\delta, \gamma, s_e, s_\gamma, s_\delta, s_r, r_\gamma, r_\delta, \Delta_r$.

Б) По r_γ и r_δ находится значение функции $f(\tau)$

$$f(\tau) = r_\gamma - r_\delta. \quad (9.18)$$

Решение уравнения. Уравнение $f(\tau) = 0$ является нелинейным и не имеет аналитического решения. Поэтому для нахождения его корня τ_z применяется численный метод Ньютона. Начальным приближением при расчете берется значение τ_B , найденное упрощенным методом.

Следует отметить, что по вычисленному значению τ_z в массиве данных маневра (см. табл. 9.1) можно найти *наибольшее значение скорости* V_Z , уменьшение хода до которого обеспечивает расхождение с «целью» на заданной дистанции $\vec{d} = d^s$.

Расчет координат точки A. По формулам (9.2)-(9.4) определяются соответствующие τ_z значения s_{ez} , δ_z , γ_z .

Вычисляется относительное расстояние s_a по линии курса $k_{ш}$ от места судна оператора до точки начала маневра скоростью (см. рис. 9.3,б)

$$s_a = \vec{s} - d^s \cdot \sin\gamma_z - s_{ez} \cdot \cos\delta_z. \quad (9.19)$$

По значению s_a рассчитывается расстояние S_A (см. рис. 9.3,а) от текущего места судна оператора до точки A, которая является границей начала безопасных маневров

$$S_A = V_{ш} \cdot s_a / u_{ш}. \quad (9.20)$$

По координатам текущего места СО, его курсу $K_{ш}$ и значению S_A находятся координаты предельной точки начала изменения V .

ПРИМЕЧАНИЯ. Определять границу безопасного маневра можно приближенным методом, так как его погрешность не ухудшает безопасности расхождения (увеличивает ДСПА).

9.6. Оценка безопасности намечаемого маневра

Принцип оценки результата планируемого изменения скорости, рассмотрим на примере ситуации сближения судов, показанной на рис. 9.4,а. На этом рисунке точечной окружностью, с центром в месте судна оператора (его номер – 0) представлена область безопасности, с радиусом равным d^s . Для оценки ситуации выделена ОДМ₀, в которой отображены метки точек кратчайшего сближения «целей». Анализ этих меток показывает, что «цель» №2 представляет угрозу.

Предположим, что для ее устранения выбрано уменьшение скорости наполовину с использованием заднего малого хода. При планировании этого действия в ОДМ₀ в поле маневра (см. рис. 6.15) указывается его начало курсором (см. рис. 6.16,в). В месте окончания маневра, рассчитанным по

длине S_M участка изменения скорости, образуется ОДМ₁. Торцевые границы этой области показаны на рис. 9.4,б,в,г пунктиром. В ОДМ₁ строятся метки точек кратчайшего сближения «целей» с судном оператора, характеризующие опасность ситуации после маневра.

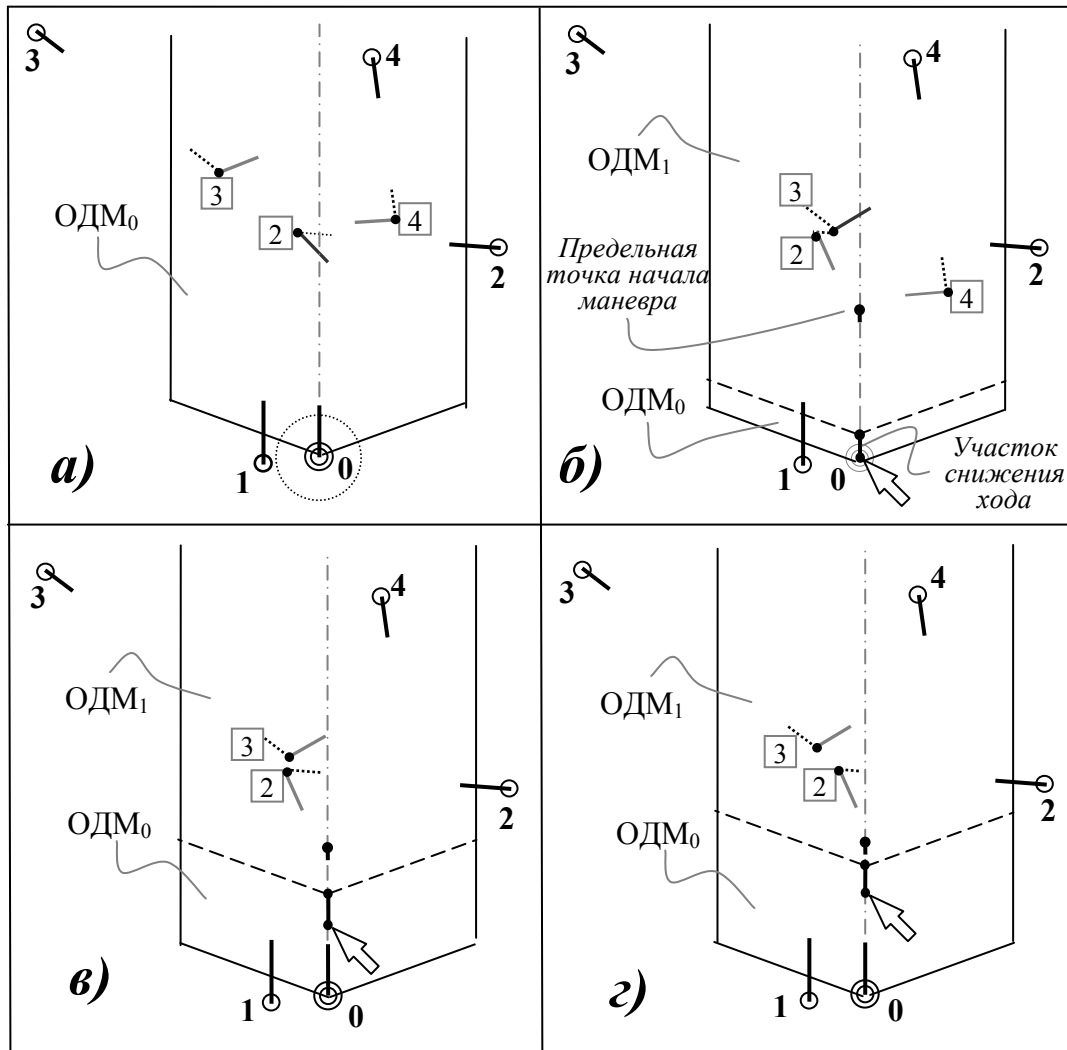


Рис. 9.4. Пример выбора маневра с помощью меток точек кратчайшего сближения

Если выбрать начало изменения V в текущий момент, как показано на рис. 9.4,б, то после маневра «цель» №2 не будет представлять угрозы, но «цель» №3 станет опасной.

Когда маневр намечается, как отражено на рис. 9.4,в, расхождение с «целью» №3 произойдет на заданной дистанции d^S .

При более позднем начале маневра до предельной точки его инициации (рис. 9.4,г), расхождение безопасно.

Допустим, что намеченный на рис. 9.4,г маневр признан подходящим и введен в план движения (рис. 9.5). После этого можно планировать возвращение к исходной скорости. Этот маневр должен инициироваться после прохождения точек кратчайшего сближения с «целями», представлявшими угрозу при выборе снижения V . Например, его можно

начать в позиции, показанной на рис. 9.5 курсором. При планировании второго маневра образуется ОДМ₂ с опорной точкой в месте его окончания. По МТКС в ОДМ₂ оценивается ситуация на момент восстановления исходной скорости хода.

Оценка наличия опасности в процессе намечаемого изменения V . При планировании маневра скоростью, необходимо убедиться, что в процессе его выполнения не будет чрезмерного сближения с лимитирующими целями. О случаях такой опасности СПС должна предупреждать оператора.

Прогноз наличия опасности столкновения в процессе планируемого изменения V может быть выполнен следующим образом.

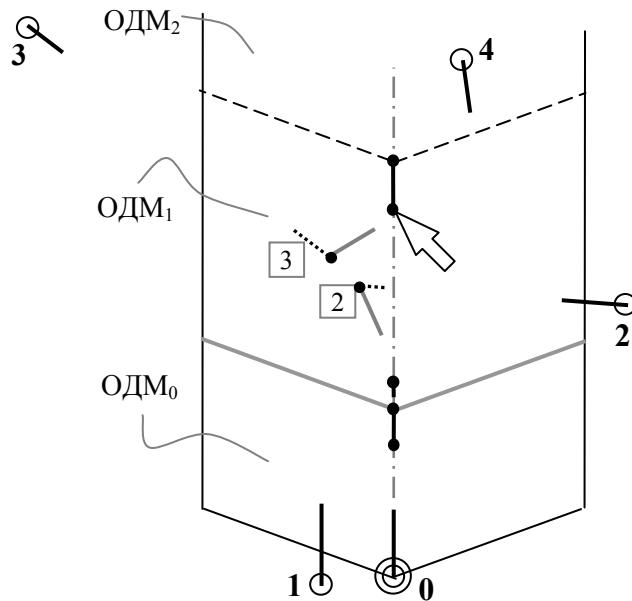


Рис. 9.5. Выбор точки возвращения к исходной скорости движения

Время изменения скорости τ_M делится на n_τ равных интервалов

$$\Delta_\tau = \tau_M / n_\tau. \quad (9.21)$$

Из массива полученных по математической модели данных планируемого изменения V (табл. 9.1) на моменты $\tau_i = i \cdot \Delta_\tau$ выбираются координаты ξ_i, ζ_i , где $i = 0, 1, 2, \dots, n_\tau$.

При разработке программного обеспечения СПС в обработчик события *OnMouseMove* вводится процедура расчета расстояний от СО до «целей» на прогнозируемые положения этих судов на моменты

$$t_i = t_0 + \tau_i. \quad (9.22)$$

В результате, *при каждом изменении координат* курсора в поле для прогнозирования маневра скоростью выполняются следующие операции.

1) По положению курсора определяются координаты точки A начала изменения V . По расстоянию этой точки от места судна оператора рассчитывается момент t_0 прихода в нее.

2) По значению t_0 по формуле (9.21) вычисляются моменты t_i прихода СО в выделенные точки. Координаты X_{0i}, Y_{0i} этих точек находятся по позиции A и значениям ξ_i, ζ_i .

3) На моменты t_i прогнозируются координаты X_{Ji}, Y_{Ji} положение «целей», где $J = 1, 2, \dots, n$ (n - количество целей).

4) По значениям X_{0i}, Y_{0i} и X_{Ji}, Y_{Ji} рассчитываются расстояния D_{iJ} от судна оператора до каждой из «целей». Если какое-нибудь из D_{iJ} будет меньше заданной дистанции кратчайшего сближения, то намечаемый маневр опасен.

Для предупреждения об угрозе, возникающей в процессе выполнения намечаемого маневра, могут использоваться разные способы. Например, участок намечаемого курсор изменения V , в процессе которого возникнет риск столкновения, перечеркивается отрезком. У этого отрезка показывается номер представляющей угрозу «цели».

10. ОТОБРАЖЕНИЕ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ВЫБОРА СРОЧНЫХ МАНЕВРОВ РАСХОЖДЕНИЯ

10.1. Ситуации, требующие немедленных действий для предупреждения столкновения

Разойтись судам особенно сложно, когда они чрезмерно сблизились и требуются незамедлительные меры для избежания столкновения. Такие ситуации характеризуются следующими признаками [8]:

- движение неизменным курсом и скоростью приводит к столкновению;
- оставшееся до столкновения время \vec{t} мало, что требует незамедлительных мер;
- не действуют правила, регламентирующие обычное расхождение;
- предотвращение столкновения может быть достигнуто только «сильным» маневром;
- вероятность маневра опасной «цели» велика.

Когда оба сближающихся судна предпринимают действия для расхождения, то маневр одного судна, улучшающий результаты маневра другого судна, называется *содействующим*, а маневр, ухудшающий эти результаты, – *противодействующим*.

Аспекты определения срочных мер для расхождения рассмотрены, например, в литературе [23, 31, 32, 35], но в общей постановке эта задача не решена. Обстоятельства и условия характеризуемых ситуаций настолько разнообразны, что исчерпывающие рекомендации невозможны. Сам факт чрезмерного сближения судов говорит о серьезном нарушении МППСС-72 обоими судами, или об ошибках в выбранных для расхождения действиях одного из них.

Обычно интервал срочных действий выделяют во времени, оставшемся до столкновения с «целью». Если обозначить его границы t^u , t^c , можно записать условие, когда необходимы срочные меры

$$t^u \geq \vec{t} \geq t^c. \quad (10.1)$$

Граница t^c в этом условии отмечает момент, после которого столкновение уже невозможно предотвратить. В этих случаях судоводитель действует в соответствии с процедурами, относящимися к чрезвычайным ситуациям. Объявляет общесудовую тревогу и предпринимает маневр, который уменьшит последствия столкновения. Повреждения будут минимальными, если удар придется по носовой части корпуса впереди таранной переборки. При приближении «цели» слева по носу неудачным маневром является поворот вправо.

Корректно выбранный маневр, начатый в момент t^c , еще обеспечивает безопасное расхождение. Это действие называют **маневром последнего момента** [23]. Во многом он зависит от поведения «цели» и должен содействовать предпринимаемым ей мерам.

Время (или расстояние) до точки столкновения, определяющее начало маневра последнего момента, четко определить невозможно, так как оно зависит от многих факторов. Поэтому его оценивают приближенно.

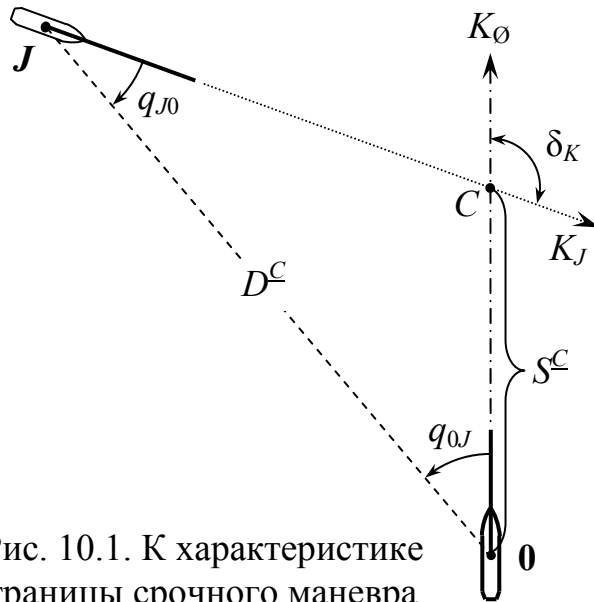


Рис. 10.1. К характеристике границы срочного маневра

Например, нередко границей t^c берут время t_{90} поворота судна оператора с предельной перекладкой руля на угол 90^0 . Этому времени соответствует расстояние S^C от судна оператора до точки C предполагаемого столкновения с «целью» (рис. 10.1)

$$S^C = V \cdot t_{90}. \quad (10.2)$$

На рисунке 10.1 обозначено:

q_{0J} , q_{J0} - соответственно курсовой угол и ракурс «цели»,
 δ_K - угол между линиями курсов судов.

Зная S^C , можно определить граничную дистанцию D^C между судами, которая также может служить критерием маневра последнего момента

$$D^C = S^C \cdot \frac{\sin \delta_K}{\sin q_{J0}}. \quad (10.3)$$

Границей срочного маневра принимают и значение S^C равное четырем длинам судна

$$S^C = 4L. \quad (10.4)$$

Различие между показателями (10.2) и (10.4) не очень велико. Согласно требованиям Резолюции ИМО MSC.137(76) к маневренным качествам судов выдвиг на циркуляции с предельной кладкой руля не должен превышать $4,5L$, где L - длина судна. Поэтому расстоянию до точки кратчайшего сближения $4L$ соответствует время поворота приблизительно на 90° .

Профессор С.Горски (Морской университет, Гдыня, Польша) рекомендует учитывать в показателе (10.4) скорость судов и принимать

$$S^C = 0,4 \cdot L \sqrt{v \cdot v_J}, \quad (10.5)$$

$$\text{где } v = \begin{cases} 10 \text{ узл.} & \text{при } V < 10 \text{ узл;} \\ V \text{ узл.} & \text{при } V \geq 10 \text{ узл;} \end{cases}; \quad v_J = \begin{cases} 10 \text{ узл.} & \text{при } V_J < 10 \text{ узл;} \\ V_J \text{ узл.} & \text{при } V_J \geq 10 \text{ узл.} \end{cases}$$

Значению S^C соответствует граница t^c

$$t^c = S^C / V. \quad (10.6)$$

Вторую границу t^u интервала срочных мер также установить затруднительно. Иногда продолжительность этого интервала считают равной одной минуте. В этом случае

$$t^u = t^c + 1 \text{ мин.} \quad (10.7)$$

Действия по расхождению с судном, предпринимаемые в эту минуту, называются *маневрами последней минуты* (Last minute manoeuvres).

В ситуациях чрезмерного сближения судов целесообразна информационная помощь со стороны компьютера. Здесь допустимо для избежания непосредственной угрозы столкновения и автоматическое выполнение маневра. Однако перед этим СПС должна представить рекомендуемое действие и уведомить, что будет его предпринимать. Если судоводитель не отменит рекомендации СПС в течение порядка 30 с., то маневр выполняется автоматически.

Естественно, компьютерная помощь возможна только тогда, когда в системе имеются данные о размерах и элементах движения другого судна. Они могут поступать по линии АИС. Если же этих данных нет, то меры для избежания аварии принимаются судоводителем на основе визуальной оценки ситуации. Их эффективность напрямую зависит от подготовленности

судоводителя. Большое значение в этом вопросе имеет тренажерная подготовка по действиям в чрезвычайных ситуациях.

Для выработки системой на основе данных АИС рекомендаций по срочному маневрированию для избежания непосредственной опасности столкновения предложено ряд методов. Учитывая, что в рассматриваемых случаях не действуют правила, регулирующие обычное расхождение, особого внимания заслуживает метод прецедентов (СВР), представленный в параграфе 6.6. Для его реализации создается база образцов расхождения в критических ситуациях. Ее содержимое должно охватывать представительное число вариантов чрезмерного сближения судов. После определения таких ситуаций образцы их разрешения отрабатываются экспертами на тренажерах и вносятся в память системы. На основе таких прецедентов осуществляется поиск решения по устранению непосредственной угрозы столкновения при возникновении ее в практической деятельности.

В этой главе (при условии, что данные о встречном судне поступают по линии АИС) внимание уделяется виду представления информации, облегчающему оператору принятие правильного решения при непосредственной угрозе столкновения.

Неотложный маневр расхождения, рассчитываемый без учета динамики судна, а в ряде случаев и таких особенностей, как падение скорости при изменении курса и разная поворотливость вправо и влево, вряд ли будет эффективным. Анализируя предложенные для определения срочных маневров математические процедуры [23, 31, 35], можно заметить, что динамика судов в них учтена недостаточно полно. Такое обстоятельство объясняется объективной причиной – еще до недавнего времени мощности компьютеров было недостаточно для получения в реальном времени прогнозов маневров судов по моделям, адекватным реальному процессу. На современном этапе это возможно.

При решении поставленной задачи ниже используется адекватная имитационная математическая модель. По ней получаются массивы данных, отражающие процессы протекания любых маневров судна, в том числе циркуляций влево и вправо с предельной перекладкой руля и торможения до остановки работой машины на полный ход назад. В рассматриваемой задаче, чтобы не загружать компьютер СПС излишними расчетами, рационально получать эти массивы данных только один раз в момент возникновения непосредственной опасности столкновения.

10.2. Основная форма отображения информации для выбора срочного действия СО

Для конкретизации условия задачи предполагается, что

- собственное судно имеет главную дизельную энергетическую установку с винтом фиксированного шага;
- «цель» передает данные по линии АИС;

- срочным маневром является: *торможение работой машины на ЗПХ* или *изменение курса с предельной перекладкой руля вправо либо влево*;
- комбинированные маневры (курсом и скоростью) не рассматриваются;
- для прогнозирования в реальном времени процессов маневрирования используется адекватная математическая модель.

При указанном перечне возможных действий выбор срочного маневра сводится к определению его вида и параметров, при которых расхождение безопасно с учетом геометрии сближения, размеров судов, навигационной обстановки, вероятного маневра «цели».

Важно, чтобы отображение результатов прогноза маневров на экране СПС обеспечивало быстрое понимание обстановки и возможность оперативного выбора адекватных действий. Ниже характеризуется один из вариантов представления ситуаций чрезмерного сближения включающий две формы: *основную* и *дополнительную*.

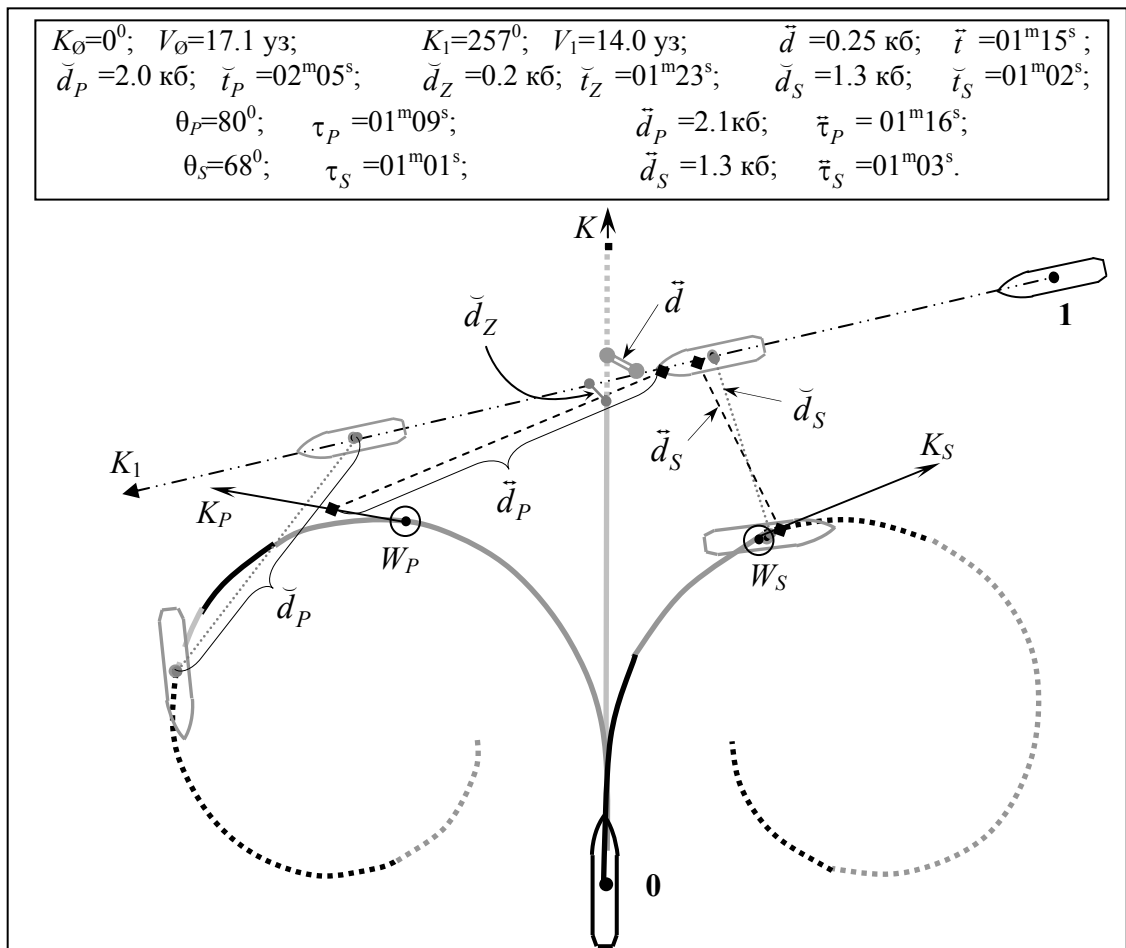


Рис. 10.2. Схема основной формы отображения данных:

- D уменьшается с ускорением; ······ D растет с ускорением;
- D уменьшается с замедлением; ······ D растет с замедлением.

На основной форме, поясняемой рис. 10.2, рассматривается «цель» с номером 1 и показываются прогнозы траекторий трех названных выше маневров судна оператора. На траекториях отмечаются участки роста и уменьшения дистанции между СО и «целью», а также выделяется ряд

важных элементов. Среди них координаты точек (W_P, W_S - на циркуляциях, W_Z - на пути торможения), в которых впервые при последовательном вычислении по модели точек траекторий значение ДСРА становится максимальным при $\vec{t} \geq 0$.

Графически и в цифровом виде представляются:

K_{III}, V_{III} - начальный курс и скорость оперирующего судна;

K_1, V_1 - курс и скорость «цели»;

$\vec{d}_Z, \vec{d}_P, \vec{d}_S$ - минимальное расстояние между судном оператора и СЦ при торможении, циркуляции влево, вправо;

$\vec{t}_Z, \vec{t}_P, \vec{t}_S$ - время от начала маневра до момента минимума расстояния между судами;

θ_P, θ_S и τ_P, τ_S - углы поворота с окончанием в точке W_P, W_S и время поворота СО на эти углы;

K_P, K_S - курсы относительно грунта в точках W_P, W_S ($K_P = K_{III} + \theta_P$, $K_S = K_{III} + \theta_S$);

\vec{d}_P, \vec{d}_S и $\vec{\tau}_P, \vec{\tau}_S$ - расстояния кратчайшего сближения на курсах K_P, K_S и время от начала маневра до момента кратчайшего сближения на этих курсах.

Чтобы учесть размеры судов, в точках минимального расстояния между ними показываются их контуры в масштабе отображения обстановки.

Для возможности быстрого понимания ситуации изображение должно быть наглядным. На рис. 10.2 с этой целью данные выделены разным типом линий черного и серого цвета. Из-за перемещения судов с течением времени значения отображаемых параметров непрерывно меняются.

Основная форма отображения служит для быстрого определения первого из действий судна оператора. Она позволяет установить, какой маневр (торможение, уклонение вправо или влево) даст лучший результат.

По данным основной формы оценивается, не проходят ли траектории судна при прогнозируемых мерах по опасным глубинам, и приводит ли маневрирование к расхождению. Так, например, можно установить, что маневр торможения в ситуации на рис. 10.2 не устраняет столкновения. Если навигационных ограничений нет, в качестве первого действия рассматриваются минимальные по времени изменения параметров движения $\theta_P, \theta_S, \Delta_V$, обеспечивающие максимум \vec{d} при $\vec{t} \geq 0$. Здесь Δ_V - величина изменения скорости при торможении. Предпочтительней с этой точки зрения маневр, в момент окончания которого \vec{d} больше, а относительная скорость сближения с СЦ меньше.

10.3. Дополнительная форма отображения ситуации

Предполагается, что наиболее вероятное действие «цели» в условиях чрезмерного сближения – изменение курса. Чтобы убедиться, не приведет ли к столкновению в процессе осуществления намеченного маневра такое возможное действие «цели», служит дополнительная форма отображения информации. Она появляется при указании курсором точки конца намечаемого маневра на одной из трех траекторий основной формы.

В этом случае изображение основной формы исчезает, а для выбранного действия СО показываются три прогнозируемые траектории относительного движения «цели». Одна из них соответствует ее курсу K_1 ; вторая – $(K_1 + \Delta_K)$; третья – $(K_1 - \Delta_K)$, где Δ_K - предполагаемая величина изменения курса «целью». Соответствующие этим траекториям относительные курсы «цели» на момент окончания маневра СО обозначены k_1, k_{1S}, k_{1P} .

Считается, что «цель» поворачивает мгновенно. Тем не менее, и при таком допущении ее ЛОДы дают представление о влиянии на намечаемый СО маневр изменения «целью» курса.

Для ситуации (см. рис. 10.2) показана на рис. 10.3 дополнительная форма с прогнозом изменения СО курса влево. Для ее вызова на основной форме курсором указана точка окончания маневра (в представленном случае - точка W_P).

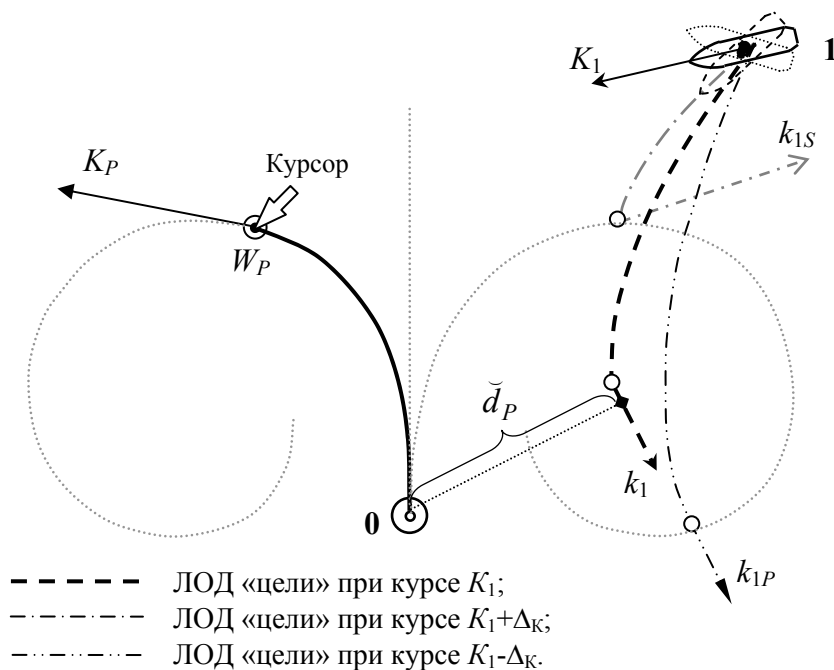


Рис. 10.3. Схема дополнительной формы отображения данных

Анализ отображенных ЛОДов «цели» позволяет заключить, что при выбранном действии судна оператора изменение курса «целью» в диапазоне Δ_K вправо или влево не приведет к столкновению. Следует отметить, что в

данном случае это является следствием того, что скорость судна оператора больше скорости «цели». В других ситуациях может понадобиться коррекция выбранного на первом этапе маневра расхождения.

Если до маневра СО «цель» начала изменять элементы движения, то с помощью предложенного вида отображения информации нетрудно выбрать содействующий маневр. В процессе маневра СО по изображению на экране должно контролироваться движение «цели». В зависимости от того, сохраняет ли она курс и скорость, совершает ли содействующий или противодействующий маневр, следует выбирать меры по уклонению от столкновения либо по возвращению к прежней линии пути.

Предложенное изображение ситуации позволяет анализировать результат выбираемого для расхождения срочного маневра как при условии постоянства курса и скорости «цели», так и при получении информации об их изменении. Это отображение не исключает другого метода представления обстановки, отвечающего целям рассматриваемой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексейчук М.С. Основные принципы системы принятия оптимального решения при расхождении судов //Судовождение: Сб. науч. трудов ОГМА. Вып. 1, 1999. – С. 7-14.
2. Алексеев Л.П. Учет инерции судов во время их маневрирования для расхождения // Труды ЦНИИМФ. – 1982. - №271. – С. 50-53.
3. Боул А.Г., Джоунс К.Д. Пособие по использованию средств автоматической радиолокационной прокладки. Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1986. – 128 с.
4. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. Повышение информативности судовых систем предупреждения столкновений //Судовождение: Сб. науч. трудов ОНМА, Вып. 16. – Одесса: ИздатИнформ, 2009. — С. 18-26.
5. Вагущенко А.Л. Зоны опасности для выбора одного из видов маневров расхождения с судами //Судовождение: Сб. науч. трудов ОНМА, Вып. 15. – Одесса: ИздатИнформ, 2008. — С. 27-34.
6. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. Мультиагентный подход к решению задач расхождения судов //Судовождение: Сб. науч. трудов ОНМА, Вып. 15. – Одесса: ИздатИнформ, 2008. — С. 35-43.
7. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. Изобразительная модель для оценки опасности столкновений //Судовождение: Сб. науч. трудов ОНМА, Вып. 17. – Одесса: ИздатИнформ, 2009. — С. 17-19.
8. Вильский Г.Б., Мальцев А.С., Бездольный В.В., Гончаров Е.И. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов /Под ред. А.С.Мальцева, Г.Б.Вильского. – Одесса-Николаев: Фенікс, 2007. – 456 с.
9. Воробьев Ю.Л. Гидродинамика судна в стесненном фарватере – Л.: Судостроение, 1992. – 224 с.
10. Временное руководство по использованию автоматической информационной (идентификационной) системы (АИС) на судах и в береговых службах. – М.: МинТранс Российской Федерации, ГосСлужба Морского Флота, 2002. - 58 с.
11. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта . 1998. №2. – С . 64-116.
12. Гофман А.Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна - Л.: Судостроение, 1988.-360 с.
13. Демиденко П.П. Судовые радиолокационные и радионавигационные системы- О.: Фенікс, 2009. – 372 с.
14. Дмитриев С.П., Колесов Н.В., Осипов А.В. Синтез безопасных траекторий расхождения судов с использованием методов искусственного интеллекта //Судостроение. СПб, 3' 2000 (730), май-июнь.
15. Жерлаков А.В., Зимин Н.С., Кононов О.В. Радиолокационные системы предупреждения столкновений судов. – Л.: Судостроение, 1984.- 200 с.
16. Золотов В.В., Фрейдзон И.Р. Управляющие комплексы сложных корабельных систем. – Л.: Судостроение, 1986. – 232 с.
17. Зурабов Ю.Г., Москвин А.А. Судовые средства автоматизации предупреждения столкновений судов. – М.: Транспорт, 1984. – 264 с.
18. Кошевой В.М., Шишкин А.В., Купровский В.И. Система и устройства автоматической идентификации судов: Учебное пособие. – Одесса: ОНМА, 2005. – 79 с.
19. Кудряшов В.Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами // Судостроение. – 1978. - №5. – С. 35-45.
20. Кузьмин З.С. Основы цифровой обработки радиолокационной информации. – М.: Сов.радио, 1974. - 432 с.
21. Куликов А.М. , Поддубный В.В. Оптимальное управление расхождением судов //Судостроение. – 1984. –№12. – С. 22-24.

22. Лихачев А.В. Разработка и исследование алгоритма выбора маневра для безопасного расхождения в судовой автоматизированной системе предупреждения столкновений. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.16 /Лен. гос. мор. акад. – Л., 1979. – 22 с.
23. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
24. Мальцев А.С. Управление движением судна – Одесса: Весть, 1995. – 232 с.
25. Павлов В.В., Сеньшин Н.И. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневров в ситуациях расхождения судов //Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. – №68. – С. 43-45.
26. Першиц Р.Н. Управляемость и управление судном – Л.: Судостроение, 1983. – 272 с.
27. Положенцев М.А., Шепетуха Ю.М. Применение двухэлементных стратегий расхождения в эргатических системах предупреждения столкновений судов //Кибернетика и вычислительная техника. – 1987. – №76. – С. 19-21.
28. Родионов А.И. Формализация принятия решений о маневре при расхождении судов //Вычислительная техника на морском флоте. М.: – 1975. – С. 10-16.
29. Родионов А.И., Сазонов А.Е. Автоматизация судовождения: Учебник для вузов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 216 с.
30. Справочник капитана дальнего плавания /[Л.Р.Аксютин, В.М.Бондарь, Г.Г.Ермолаев и др.]; под ред. Г.Г.Ермолаева.–М.; Транспорт, 1988.– 248 с.
31. Таратынов В.П. Расчет момента «критического положения» судов и понятие «района непосредственной близости» //Судовождение. – 1975. – №16. – С. 68-75.
32. Управление судном: Учебник для вузов /С.И.Демин, Е.И.Жуков, Н.А.Кубачев и др.; под ред. В.И.Снопкова. – М.: Транспорт. 1991. – 359 с.
33. Федуков Б.К., Зильман Б.И. Метод прогнозирования траектории судна в системах автоматической радиолокационной прокладки //Навигация и управление судном. – Л: Транспорт, 1986. – С. 78-81.
34. Фрейдзон И.Р. Моделирование корабельных систем управления. – Л.: Судостроение, 1975. – 232 с.
35. Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. Гибкие стратегии расхождения судов. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
36. Цаллагов Х.-Б.Н. Аналитические методы определения безопасных курсов и скоростей судов //Теоретические вопросы построения АСУ крупнотоннажными транспортными судами. – Наука, 1978. – С. 83-93.
37. Dove M. J., Burns R. S., Stockel C.T. An Automatic Collision Avoidance and Guidance System for Marine Vehicles in Confined Waters. *Journal of Navigation*, Vol. 39, p. 180, 1986.
38. Hammer A. and Hara K. Knowledge acquisition for collision avoidance maneuver by ship handling simulator, MARSIM & ICSM 90, Tokyo, 1990, pp. 245-252.
39. Hara, K. and Hammer, A. A safe way of collision avoidance maneuver based on maneuvering standard using fuzzy reasoning model, MARSIM 93, St. Johns, 1993, pp. 163-170.
40. Hasegawa K. Automatic collision avoidance system for ships using fuzzy control, 8th Ship Control System Symposium, Hague, 1987.
41. Hwang C. The Integrated Design of Fuzzy Collision Avoidance and H_{∞} - Autopilots on ships. *The Journal of navigation*, vol. 55, no.1, pp.117-136, 2002.
42. Imazu H. and Koyama T. The optimization of the criterion for collision avoidance action, J. of Japan Institute of Navigation, Vol. 71 (1984).
43. Isshiki H. Algorithm for collision avoidance of a ship, J. of Kansai Society of Naval Architecture, No. 222 (1994).
44. Kose K. and Yang C. A Collision Avoidance Expert System for Integrated Navigation System and Its Brush-up, Journal of the Society of Naval architects of Japan. Vol. 177, 1995.

45. Koyama T. and Yan J. An expert system approach to collision avoidance, 8th Ship Control System Symposium, Hague, 1987.
46. Lee H.J. and Rhee K.P. Development collision avoidance system by using expert system and search algorithm. - Seoul, Int. Shipbuild. Progr., **48**, no. 3 (2001) pp. 197-212.
47. Lee H.J., Yoo W.J. and Rhee K.P. Development of collision avoidance system by fuzzy theory, The Second Japan-Korea Joint Workshop on Ship & Marine Hydrodynamics, Osaka, 1993, pp. 164-169.
48. Lisovski I.A. Differential Game Model of Ship Control Process //Link. Sei. And Appl. Automat. Control – Helsinky. 1978. Vol. 2. – P. 1557-1603.
49. Liu Y., Yang C. A Multiagent-Based Simulation System for Ship Collision Avoidance - National Research Council of Canada, August 2007. - 12 c.
50. Liu Y. and Yang W. The structure Design of an Intelligent Decision Support System for Navigation Collision Avoidance. *IEEE The Third International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol. 1, pp 302-307, August 2004.
51. Liu Y. A design and Study on Intelligence Collision Prevention Expert System for Navigation. *Ph.D. thesis, Harbin Engineering University, china*, July 1999.
52. Liu Y., Du X. and Yang S. The Design of a Fuzzy-Neural Network for Ship Collision Avoidance. *ICMLC 2005, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3930, pp. 804-812, July 2006.
53. Radar Navigation and Maneuvering Board Manual. – Pub. 1310, NIMA, 2003. – 399 p.
54. Rhee K.P. and Lee H.J. Development of a collision avoidance system considering the navigation plan, MARSIM 96, Copenhagen, 1996, p p. 341-348.
55. Sato Y. and Ishii H. Study of collision-avoidance system for ships. *Control Engineering Practice*, vol. 6, pp. 1141-1149, 1998.
56. Śmierzchalski R. Sinteza metod i algorytmów wspomaganie decyzji nawigatora w sytuacji kolizyjnej na morzu.-Wyższa Szkoła Morska, Gdynia. 1998. – 172 s.
57. Smierzchalski R. and Michalewicz, Z. Modeling of a Ship Trajectory in Collision Situations at Sea by Evolutionary Algorithm. *IEEE Transaction on Evolutionary Computation* Vol.4, No.3, pp.227–241, 2000.
58. Yang C. An Expert System for Collision Avoidance and Its Application. *Ph.D. thesis, Hiroshima University, Japan*, September 1995.
59. Yuhong Liu, Shenping Hu. An Evaluation System for Single-Target Ship Collision Avoidance Based on Data Fusion. *NAVIGATION OF CHINA*, vol. 65, no. 4, pp. 40-45, Dec. 2005.
60. Yuhong Liu, Hongxia Liu, “Case Learning Based on Evaluation System for Vessel Collision Avoidance,” *IEEE The Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol. 4, pp. 2064-2069, August 2006.