ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
БАЛТИЙСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА
СУДОВОДИТЕЛЬСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА СУДОВОЖДЕНИЯ

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА
НА ТЕМУ

Синтез системы бинарной координации при расхождении судов

Допущена к защите

Декан судоводительского факультета

Профессор ……**В. А. Бондарев**

«……» …….. 2018 г.

Заведующий кафедрой судовождения

Профессор ……**В. М. Букатый**

«……» …….. 2018 г.

Руководитель *ст.преп.*……..…….....…… / *Анашкин В.А.* /
подпись Фамилия, И., О.

Рецензент ……..... ……../ ……./
подпись Фамилия, И., О.

Нормоконтролер *профессор* ……..……/ *Букатый В.М.* /
подпись Фамилия, И., О.

Исполнитель курсант уч.гр. С-51 ……..…../ *Юдин Н.И.* /
подпись Фамилия, И., О.

Калининград - 2018

Реферат

Дипломная работа: 51, рис. 18, табл. 1, прил. 0, источн.7.

СТРУКТУРА МППСС-72 В ЧАСТИ РАСХОЖДЕНИЯ, СИНТЕЗ СТРАТЕГИЙ РАСХОЖДЕНИЯ, АНАЛИЗ СИТУАЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ, БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ.

Объект исследования – синтез системы бинарной координации при расхождении судов.

Цель работы – Анализ ситуации опасного сближения двух судов в зависимости от соотношения дистанции кратчайшего сближения и предельно-допустимой дистанции. Определение структуры системы бинарной координации маневров расхождения опасного сближения рыбопромысловых судов.

В дипломной работе дано краткое описание существующих стратегий расхождения судов в ситуации опасного сближения, приведён синтез системы бинарной координации. В результате исследования выявлены недостатки существующих стратегий, а также разработана и предложена методика по поиску безопасного метода расхождения в ситуации опасного сближения двух судов.

Применение:

Возможно практическое использование разработанной стратегии в реальных условиях плавания и промысла судна;

Результаты исследований можно использовать в учебных целях для обучения курсантов старших курсов специальности “судовождение”

Представляется возможным дальнейшее развитие методики и внедрение её в САРП и другие системы, направленные на повышение безопасности мореплавания.

Содержание

Реферат..... 2
Введение..... 4
1 Структура МППСС-72 в части расхождения и применения системы бинарной координации, реализованной в них..... 6
1.1. Рекомендации обычной морской практики..... 10
2 Стратегии расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения..... 14
2.2 Стратегия расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения судов на попутных курсах..... 19
2.3. Учет навигационных опасностей и мешающих судов при расчете маневра экстренного расхождения..... 24
2.4. Выбор маневра расхождения судна изменением курса судна..... 28
2.5. Выводы по второй главе..... 32
3 Модель бинарной координации..... 33
4 Определение структуры системы..... 39
Заключение..... 49
Список использованных источников..... 51

Введение

В данной дипломной работе произведен обзор литературы и анализ основных направлений решения проблемы обеспечения безопасности судовождения, в результате которого выявлено, что основными направлениями решения данной проблемы являются разработка безопасных методов расхождения совершенствование методов управления судном при плавании в стесненных районах.

Обоснованы основные направления дипломного исследования, которые посвящены проблеме безопасного расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения. Объектом исследования является процесс предупреждения столкновений судов, а предметом исследования являются методы выбора безопасной стратегии расхождения судна.

Обеспечение безопасного и своевременного расхождения судов в случае возможности их столкновения является одной из наиболее важных проблем безопасности судовождения. Тенденция снижения аварийности мирового морского флота в наши дни незначительна, что в свою очередь обуславливает необходимость решения данного вопроса.

От разнообразия возможности маневра и его своевременности, а также от умения судоводителя выбирать наиболее эффективный манёвр судна скоростью, курсом из возможных вариантов, зависит успешное решение задач безопасности плавания судов, особенно в стесненных условиях промысла.

Благодаря последним достижениям науки и техники, качественно изменился подход к решению задач судовождения, а также появилась возможность автоматизировать информационное обеспечение о координатах судна, обстановке и других элементах движения, но задание пространства вокруг судна, в пределах которого, оно, приняв необходимые и надлежащие меры, может избежать столкновения и последствий аварийного силового воздействия, остаётся непосредственно за судоводителем.

При этом, как правило, маневры расхождения судов должны быть согласованы

с помощью системы бинарной координации [1, 2], структура которой требует подробного исследования. Данному вопросу и посвящена данная дипломная работа.

Цель работы – анализ ситуации опасного сближения двух судов в зависимости от соотношения дистанции кратчайшего сближения и предельно-допустимой дистанции. Определение структуры системы бинарной координации маневров судов.

Актуальность темы данной работы проявляется в следующем:

- правильный выбор маневра поможет уменьшить риск столкновения и повысить безопасность мореплавания и ведения промысла;
- судоводитель на навигационном мостике должен уметь быстро и правильно оценивать ситуацию, и уметь выбирать маневр в зависимости от маневренных характеристик судна и применительно к условиям плавания и ведения промысла.

Для достижения цели дипломной работы необходимо решить ряд поставленных задач:

- провести аналитический обзор научной и специальной литературы;
- провести анализ структуры МППСС-72 [3] в части расхождения и применения системы бинарной координации.
- провести анализ стратегий расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения;
- провести анализ модели бинарной координации;
- произвести формализацию ситуации чрезмерного сближения судна с целью, исходя из сложившейся их относительной позиции и параметров движения, а также учитывая требования МППСС-72 в части маневрирования судов при опасном сближении.

1 Структура МППСС-72 в части расхождения и применения системы бинарной координации, реализованной в них

Международные правила предотвращения столкновения судов 72 года – далее МППСС-72 представляют собой необходимую систему международных и обязательных правил, нацеленных на предупреждение и предотвращение столкновений судов в море как одного из самых важных аспектов обеспечения безопасности судоходства. Исходя из этого при устранении опасности столкновений руководствуются МППСС-72. Так же имеет место при регулировании угрозы столкновения такое понятие как правила хорошей морской практики для принятия решений о предпочтительном поведении в некоторых видах ситуаций.

МППСС-72 – один из основных официальных международных документов который предписывает определенные действия в выборе маневра при устранении опасности связанной с устранением опасности столкновения судов. Технические требования, связанные с обязательными огнями, знаками и которые должны нести суда, так же руководствуются данными правилами. МППСС-72 являются регулятором взаимного движения судов и включают в себя общие принципы движения судов при расхождении.

Главные аспекты лежащие в основе принятия решения при устранении угрозы столкновения находятся в части «В» МППСС-72 – «Правила плавания и маневрирования». Данные положения регулируют бинарную координацию между двумя опасно сближающимися целями, а также содержат ряд положений, определяющих поведение на определенных этапах принятия решений по выбору маневра.

Первый этап при формировании необходимых решений по предупреждению столкновения – оценка удовлетворительности текущего положения системы управления. Данный аспект затрагивает правило номер 5.

«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».

Основной критерий должного ведения наблюдения своевременное обнаружение всевозможных изменений в обстановке при нормальной видимости – немедленное, а при ограниченной - в кратчайший срок. Наблюдение за обстановкой обязано быть ни на мгновение не прерываемым, то есть постоянным. Наблюдение должно осуществляется с использованием всех возможных средств в том числе и технических таких как электронные системы, которые применяются для оценки навигационной опасности и угрозы столкновений. Один из главных основных критериев для своевременного принятия должных мер по расхождению – соблюдение критерий о надлежащем наблюдении и обязательной оценки всех образуемых ситуаций.

При выборе решений на первом этапе так же руководствуются следующие правилами:

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

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

Так же следует учесть следующие: все требования в правилах 5-10 МППСС-72 должны осуществляться и в условиях ограниченной видимости на что указывает правило номер 19(c).

Второй этап принятия решения зависит от правила 18 «Взаимные обязанности судов». Решение необходимости принятий мер для предотвращения столкновений так же зависит от навигационного статуса судов по приоритету движения при решении задач по расхождению, при том что суда находятся на виду друг у друга. Данный статус судна регулирует правило 3.

Таблица 1.1. – Навигационный статус судов по Пр.3, МППСС-72

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

При плавании при условии ограниченной видимости, независимо от маневренных характеристик судно обязано заблаговременно принять необходимые действия для предотвращения столкновения, данные действия определяет правило 19(d). Согласно данному правилу привилегии сохранить скорость и курс лишаются обе опасно сближающиеся цели.

Третий и четвертый этап при выборе маневра для предотвращения столкновения основывается на основании результатов первых двух этапов и регулируются следующими правилами:

Правило 8. «*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 13. *«Каждое судно, обгоняющее другое судно, должно держаться в стороне от пути обгоняемого судна».*

Правило 14. «*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 15. «*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 17. *«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 19. *«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.»*

Трудности при создании универсального алгоритма при предотвращении столкновений с судами следуют из-за того, что МППСС-72 точно не определяют многие понятия такие как:

- Безопасная скорость
- Безопасное расстояние
- Чрезмерное сближение
- своевременное действие и т.д.

Синтез объективных и субъективных факторов обуславливает особенности образования судами непредвиденных ситуаций при судоходстве, которые не могут быть заранее предусмотрены.

МППСС-72 предполагают лишь общие направления при принятии решений, так же подразумевается, что для стандартной ситуации алгоритм действий может быть неприменим и даже опасен в частном случае.

1.1. Рекомендации обычной морской практики

В правилах МППСС-72 помимо основных правил, содержатся и конкретизирующие их использование в типичных ситуациях дополнительные положения, названные правилами обычной или хорошей морской практики. Вот некоторые из этих положений:

Когда «судно» предоставляет опасность, то при наличие других целей необходимо выявить те из них, которые возможны стать опасными при исполнении маневра.

Выбранный маневр не должен быть противоположным действию, обычно выбираемому судоводителями в схожих ситуациях.

Ресурс времени на принятие решений при расхождении судов обычно связан с уменьшением относительной скорости сближения целей.

Маневр возврата к исходным элементам движения или к прежнему курсу обязан быть своевременным и хорошо заметным, как и маневр от опасной цели.

Чем изменение линии пути и скорости судна более значительнее и заметно, тем быстрее устраняется угроза, связанная с расхождением с опасной целью. Обычно время, по возможности, должно быть малым и не превышать 3х минут.

Маневр курсом в сторону от опасного судна происходит значительно быстрее при движении полным ходом чем при снижении скорости. На малом ходу данное преимущество не имеет смысла из-за роста времени на поворот. Эффективность пера руля снижается из-за снижения скорости судна.

Если при сближении с «целями» есть возможность спрогнозировать информацию об их будущих необходимых или возможных маневрах, то данную информацию необходимо учесть при выборе маневра для расхождения.

В ситуации, когда курсовой угол приближающегося опасного судна мал, увеличение дистанции кратчайшего сближения проще достигается изменением линии пути. Снижение скорости хоть и приведет к времени кратчайшего сближения судов, но мало повлияет на дистанцию кратчайшего сближения с опасной целью.

Циркуляция или изменение скорости судна малоэффективно при расхождении с опасным судном которое находится на небольшом курсовом угле. Обычно данные маневры применяются если судно, которое представляет угрозу находится на курсовом углу от 45 до 135 градусов.

Следует принять во внимание, что снижение скорости судно, как правило займет намного больше времени чем маневр курсом. Следовательно, маневр скоростью должен выполнятся раньше, чем изменение курса и выполнятся изменением градации хода сразу на 2-3 положения. Для ускорения данного маневра можно использовать реверс машины на задний ход.

Если есть возможность принять ранние действия по расхождению необходимо воспользоваться этим. Это приведет к снижению напряженности выполнения задачи, что уменьшит напряженность. Однако их обоснованность уменьшается из-за возможных ошибок в определении элементов движения судно, что необходимо так же учитывать и учитывать возможность изменения элементов движения встречного судна.

Из-за бездействия уступающего судна привилегированному у второго судна возникает необходимость в выполнении маневра. К этому приводит задержка в выполнении маневра уступающего судна в следствие чего появляется необходимость в использовании более сильных маневров и ресурс времени на маневр становится меньше чем при заблаговременном расхождении опасных целей.

В ситуации, когда две опасные «цели» находятся на виду друг у друга и уступающее судно не предпринимает никаких мер, слишком ранний маневр привилегированного судна противоречит основному принципу МППСС-72 в плане

распределения обязанностей судов, а слишком поздний не позволит уйти от опасности только собственными действиями. Следует учитывать то, что расстояние, на котором привилегированное судно может принимать действия, связанные с расхождением должно быть значительно меньше того, на каком судно уступающее дорогу обязано совершить маневр. Это связанно с тем, что уступающее судно в любой момент имеет возможность изменить курс или скорость. Поэтому меры, которые совершает привилегированное судно не должны противоречить возможному маневру уступающего судна. Либо маневр привилегированного судна должен быть хорошо замечен и перекрывать неблагоприятный маневр второго судна.

В тумане маневр своевременный при хорошей видимости обычно будет считаться запоздалым.

Уклонение влево, при нахождении опасного судна впереди траверза, рассматривается в последнюю очередь и выполняется на значительнее чем при повороте вправо. Сначала проверяется вариант изменения курса вправо, затем снижение скорости судна и только при невозможности данных маневров рассматривается уход влево.

В тумане, при движении опасных целей на противоположных курсах или если они движутся почти прямо друга на друга, обычно изменение курса вправо является более предпочтительным маневром.

Предпочтительным маневром при расхождении в ситуации ограниченной видимости при сближении опасных целей на пересекающихся линиях пути, когда скорость привилегированного судна значительно больше и возможности пересечь его линию пути заблаговременно нет будет являться либо уменьшение скорости, либо циркуляция в сторону движения другого судна.

При ограниченной видимости если цель находится на траверзе или близком к 90 градусам курсовом угле, необходимо подождать до определенного момент не изменит ли «цель» маневр вправо. Если данного маневра не произойдет необходимо изменить вправо на параллельный курс и снизить скорость для уменьшения времени расхождения.

В тумане при обгоне наилучшими действиями для догоняющего судна будут те же что и при условиях хорошей видимости, только с тем отличием что должны выполняться раньше.

Хорошая морская практика предъявляет в условиях расхождениях в системах разделения движения и узкостях повышенные требования к готовности машин к изменению скоростью так как это требует больше времени и менее заметно чем маневры курсом.

Выше перечисленные правила, которые определяют поведения судов и выбор маневра при расхождениях в различных ситуациях, являются частью системы необходимых процедурных знаний, которые в свою очередь используются при построении стратегий и рекомендации по устранению угроз связанных с предотвращением столкновений судов.

2 Стратегии расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения

При опасном сближении судов, когда угроза столкновения выявляется заблаговременно, структура маневра расхождения представлена участком уклонения, который характеризуется моментом времени начала уклонения и курсом уклонения, а также участком выхода судна на заданную траекторию движения. Момент времени начала и курс выхода на программную траекторию движения характеризуют второй участок маневра расхождения. И, наконец, стратегию расхождения завершает момент времени достижения программной траектории и поворота на начальный курс следования.

В общем случае способ расчета параметров стратегии экстренного расхождения предполагает выполнение маневра в открытом море без навигационных опасностей при отсутствии других судов в районе маневрирования. При этом инерционность судна при поворотах не учитывается, и параметры маневра расхождения рассчитываются в первом приближении.

В ситуации чрезмерного сближения судов структура маневра экстренного расхождения зависит от текущей ситуации, что требует формализации определения структуры маневра расхождения при чрезмерном сближении в зависимости от складывающейся ситуации в процессе маневрирования.

Предположим, что в момент возникновения ситуации чрезмерного сближения (нулевой момент времени) судно, должно лечь на курс К0, который равен обратному пеленгу на цель, то есть $K_0 = a + 180$ где, а – пеленг на цель. При этом данный маневр должен производится в сторону от направления на опасную «цель» и при максимальной угловой скорости. Этот этап данной стратегии можно назвать «убеганием» от опасной цели и главной задачей этого этапа – изменение максимального значения скорости изменения параметров, а именно изменение дистанции между судном и целью. За исходные параметры в данной работе примем то, что скорость цели V_c больше скорости судно которое должно уступить дорогу V_0, то есть $V_c > V_0$

Данный этап позволяет скомпенсировать ситуацию чрезмерного сближения, позиция судна относительно «цели» изменяется так, чтобы судно оказалось в

ситуации обеспечивающей безопасное сближение и в следствии чего движение судна к исходной линии пути.

Исходя из этого после маневра курсом на курс K_0, при большей дистанции кратчайшего сближения $max\, L_{min}$ не превышает предельно допустимую дистанцию L_d, следовательно $max\, L_{min} \le L_d$, линия пути судна $K_0 = a + 180$, следует заметить, что данная линия пути будет изменяться с изменением пеленга а, из за перемещения опасной «цели» относительно судна. Логично, что в данном случае линия пути судна постоянно стремится к исходному курсу, а дистанция между судном и опасной целью увеличивается. При скорости судна меньше скорости опасной «цели» $V_c > V_0$, то при изменении линии пути на 360^0 изменится лишь в некотором секторе принимая максимальные и минимальные значения величина которых определяется следующими выражениями (2.1) [1]:

$$K_{ot\,min} = \pi + K_c - arcsin\rho \text{ и } K_{ot\,max} = \pi + K_c - \arcsin\rho, \qquad (2.1)$$

Где $K_{ot\,min}$ и $K_{ot\,max}$ – Минимальные и максимальные значения относительного курса,

K_c – Курс опасной цели,

$\rho = \frac{V_0}{V_c}$, при чем в нашем случае данная величина меньше единицы.

Следовательно, что при ρ меньше единицы для всех истинных курсов судна от 0 до 2π относительный курс будет достигать значений из диапазона [$K_{ot\,min}$, $K_{ot\,max}$].

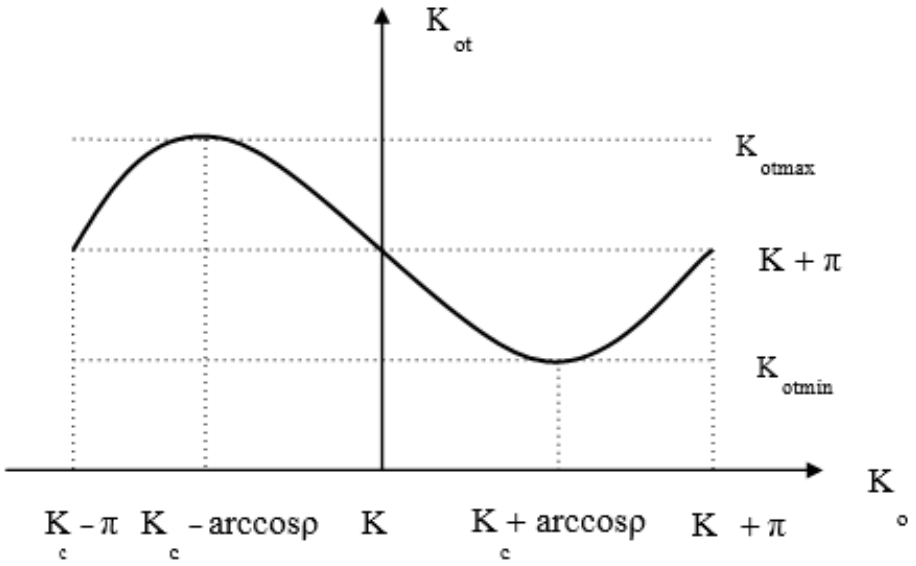


Рисунок 3.2 – Зависимость относительного курса K_{ot}от курса судна K_0при р <1

А в случае если $\rho \geq 1$, то относительная линия пути будет варьироваться от 0 до 2π при изменении истинной линии пути судна в том же диапазоне.

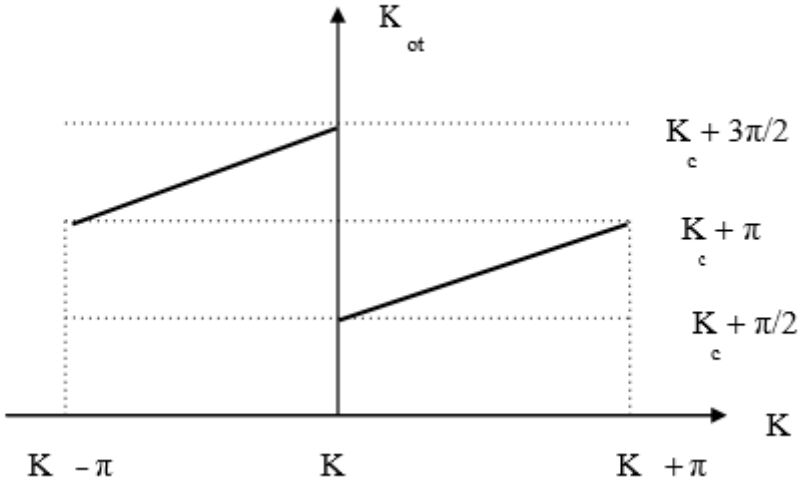


Рисунок 3.3 – Зависимость относительного курса K_{ot} от курса судна K_0 при р ≥ 1

Очевидно, если скорость судна меньше скорости цели, то максимально возможная дистанция кратчайшего сближения $^{max}L_{min}$ достигается при относительных курсах $K_{ot\,min}$ или $K_{ot\,max}$. Если через K_{extr} обозначить экстремальный относительный курс ($K_{ot\,min}$ или $K_{ot\,max}$), н котором дистанция кратчайшего сближения L_{min}

максимальна, то при условии что цель не изменяет параметры движения, выражение для L_{min} (2.2) имеет следующий вид:

$$L_{min} = D\sin\left(K_{extr} - a\right) \tag{2.2}$$

Где a, D – соответственно пеленг на цель и дистанция между судном и целью.

Так как с момента времени начала отворота судна от начального программного курса пеленг a и D изменяются, то в момент времени t_{on} достижения курса судна значения курса «убегания» K_o необходимо оценить текущую относительную позицию. Для этого следует с помощью формулы (2.1) рассчитать экстремальные относительные курсы и вычислить максимально возможную дистанцию кратчайшего сближения $max\, L_{min}$ по формуле (2.2).

Затем надлежит проверить справедливость равенства $max\, L_{min} \le L_d$. Если неравенство справедливо, то надлежит следовать курсом «убегания» K_o, удерживая курс судна противоположным пеленгу на цель, стараясь увеличить дистанцию до цели. При это надлежит контролировать соотношение $max\, L_{min} \le L_d$. При справедливости данного неравенства судно продолжает следовать курсом K_o до тех пор, пока максимально возможная дистанция кратчайшего сближения L_d, то $max\, L_{min} = L_d$. Момент времени события обозначим $t_{ок}$. В момент времени изменить судна на величину, при достигается экстремальное относительного курса и значение кратчайшего сближения.

Как в работе (4), экстремальные курсы $K_{ot\,min}$ и $K_{ot\,max}$ (2.3) соответственно при судна:

$$K_{ot\,min} = K_c + \arccos\left(p\right) \text{ и } K_{ot\,max} = K_c - \arccos\left(p\right). \tag{2.3}$$

одним из указанных , судно перемещается в цели, дистанция D между и целью сокращается, в момент времени t_b предельно дистанции L_d. Начиная с момента времени, D увеличивается и судно на курс на исходный курс K_b, участок выхода на траекторию движения расположен под $\gamma = 30 - 40^0$ к исходной траектории, то

$K_b = K_{n\pm}\gamma$ где K_n- начальный курс . Судно следует выхода K_b до тех пор, не достигает исходного , после чего на начальный курс K_n, по исходной .

Если в момент t_{on} достижения курса значения курса «» K_o имеет неравенство $max\, L_{min} \geq L_d$, то необходимо возможность выхода на исходную траекторию K_b, для чего произвести контроль дистанции при следовании курсом. Если увеличивается, то может выходить на линию пути. В случае при уменьшении необходимо дистанцию кратчайшего L_{minb} при следовании курсом K_b с на момент времени t_{on}. справедливо $L_{minb} \geq L_d$, то судно реализует выхода судна на траекторию. Если же не выполняется, то рассчитать курс K_y (2.4) при котором кратчайшего сближения L_{min} предельно дистанции L_d, то есть $L_{min} = L_d$. В случае значение уклонения K_y рассчитывается по :

$$K_y = K_{oty} + \arcsin\left[\, p^{-1} \sin\left(K_c - K_{oty}\right)\right] \tag{2.4}$$

Где K_{oty} – курс уклонения , который определяется из

$$K_{oty} = a_y + \arcsin\left(\frac{L_d}{D_y}\right) \tag{2.5}$$

Где a_y и D_y – соответственно и дистанция на времени t_{on}.

2.2 Стратегия судов в ситуации сближения судов на курсах

ситуации чрезмерного на встречных курсах возникает критическое на попутных , когда догоняющее не предпринимает своевременное по обгону, что вынуждает судно экстренное маневрирование для расхождения. Поэтому при задачи также рассмотреть чрезмерного сближения на курсах и специфику расхождения в такой . В ситуациях сближения Международные МППСС-72 (правило 17) обоим судам меры, безопасное расхождение, ситуация чрезмерного возникает в случае, судно, дорогу, не выполняет обязанности.

Такая может возникнуть и в обгона, обгоняющее судно с более медленным судном, не уступая ему и вынуждая согласно правилу 17 [3]. В ситуациях оба судна маневр расхождения в неопределенности предстоящих действий , и безопасный исход в ситуациях возможен минимаксных , которые обеспечивают безопасность расхождения при наихудшем поведении .

Данная рассмотрена в ситуации судна с целью при сближении на попутных без ограничения начальных относительных в ситуации отсутствия опасностей и мешающих , причем маневр судна изменением курса, а его учитывается в первом с помощью скорости циркуляции.

сближение на попутных возможно только в превосходства цели одного над другим, то есть второго судна чем скорость судна. Ситуация сближения на попутных возникает в случае, максимально дистанция кратчайшего $max\,L_{min}$ (2.6)не превосходит дистанции сближения L_d, то справедливо $max\,L_{min} \le L_d$. Как показано в работе [4], в когда скорость судна меньше второго то величина максимально дистанции кратчайшего $max\,L_{min}$ рассчитывается с помощью :

$$max\,L_{min} = max\left(maxL_{min}^{(mx)},\ maxL_{min}^{(mn)}\right), \tag{2.6}$$

Где $maxL_{min}^{(mn)} = D_n \sin\left(K_{otmin} - \alpha_n\right)$,

$$maxL_{min}^{(mx)} = D_n \sin\left(K_{otmax} - \alpha_n\right),$$

$$K_{otmin} = \pi + K_2 - \arcsin\left(\frac{V_1}{V_2}\right), \tag{2.8}$$

$$K_{otmax} = \pi + K_2 + \arcsin\left(\frac{V_1}{V_2}\right), \tag{2.9}$$

Где D_n, α_n – начальные дистанция и ; K_2 – курс цели.

Как установлен чрезмерного сближения, ложится на циркуляцию, курс в сторону от с максимальной скоростью, реализуя этап экстренной расхождения. Особенностью расхождения на курсах является достижение нулевого скорости

изменения D. Поэтому при перед моментом t_{on}, когда изменение судна достигнет 90^0, контроль первой производной между судном и . Если $D>0$, то судно циркуляцию до на начальную траекторию движения с курсом K_1. В случае в момент t_{on} судно на курс $K_a = K_1 + 90^0$ и продолжает этим курсом, контролируя скорость дистанции до D.

В момент времени, дистанция между и целью перестанет , то есть $D=0$, а продолжает следовать с параметрами движения, то следует ложится на K_b выхода на траекторию движения, $K_b = K_1 \pm 40.$ В последнем выражении «+» принимается в том случае, судно в уклонения окажется от начальной траектории и «-» если судно в уклонения справа от начальной . Если в процессе судна цель изменяет курс в сторону , то судну надлежит на курс K_b для предотвращения . Судно данным курсом до тех пор, не достигнет программной движения, после ложится на курс и следует траекторией движения.

текущего значения изменения D производится с помощью (2.10):

$$D = V_1 \cos(\alpha - K_1) + V_2 \cos[K_2 - (\alpha + \pi)]. \qquad (2.10)$$

стратегия была с использованием написанной на языке высокого уровня «», которая содержит выбора ситуации чрезмерного судов, модуль текущей ситуации и безопасного экстренного расхождения.

В компьютерной программы вышеприведенный алгоритм, а ситуация на рисунке 2.1, когда , следуя скоростью 25 , сблизилась на 0,3 мили с , скорость равна 17 узлам. судна осуществлялось программой, а целью управлять .



Рисунок 2.1 – Начальная чрезмерного сближения на курсах

Судно, курс с максимальной угловой , достигает положения, его курс уменьшается на 80 , данная показана на рисунке 2.2.

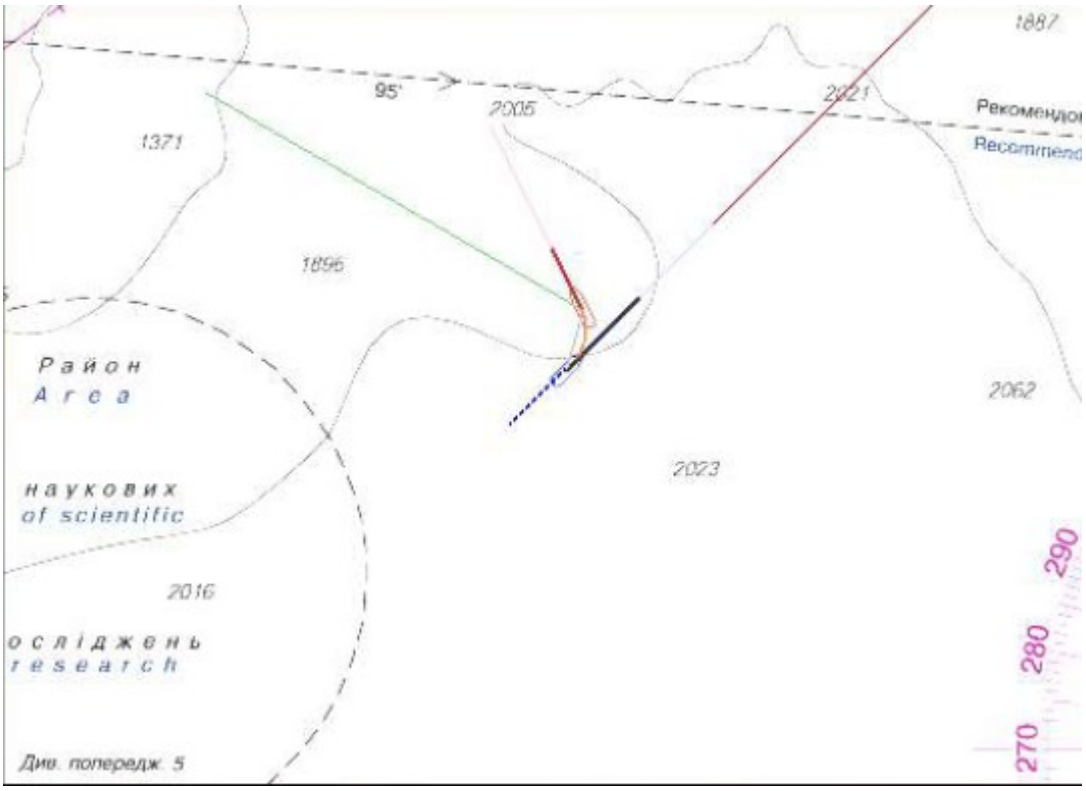


Рис. 2.2 – , когда судно решение о дальнейшем

В этот судно оценивает изменения дистанции, равна нулю, а следует с параметрами движения. судно продолжает циркуляцию влево до на программную движения как показано на 2.3.

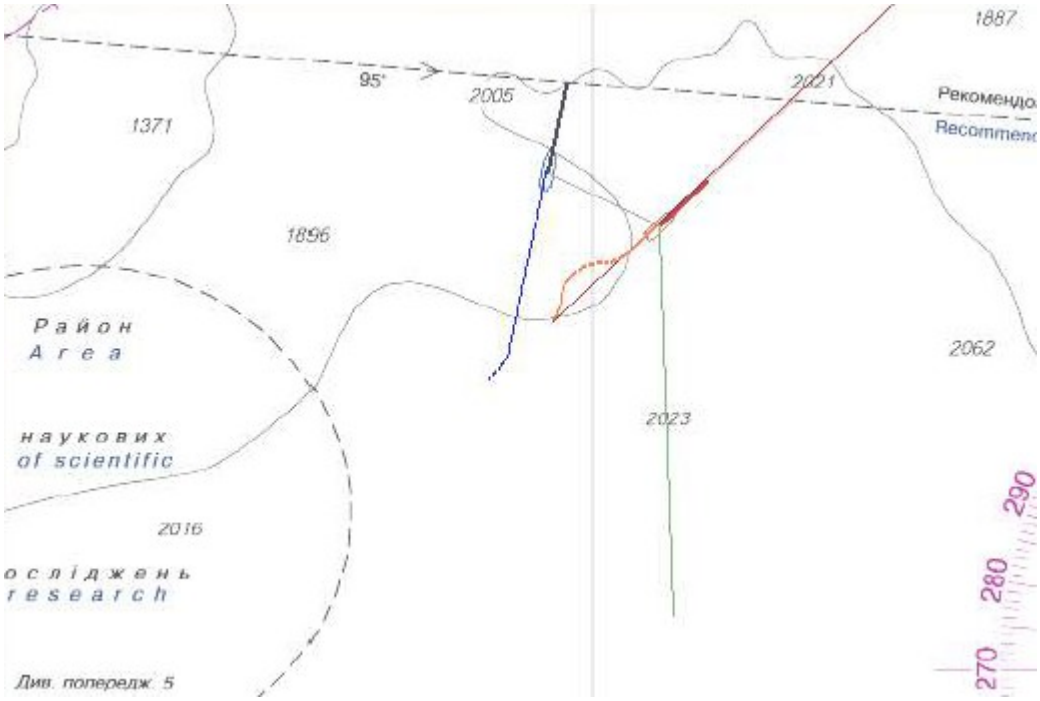


Рисунок 2.3 – Выход на программную траекторию циркуляции

такому маневру расхождения судно цель и продолжает прежней движения. Если в уклонения судно , что цель изменяет в его сторону, то производит перекладу руля на противоположный в сторону исходной движения.

достигает курса на заданную траекторию, а возвращается на исходную движения, что на рисунке 2.4.

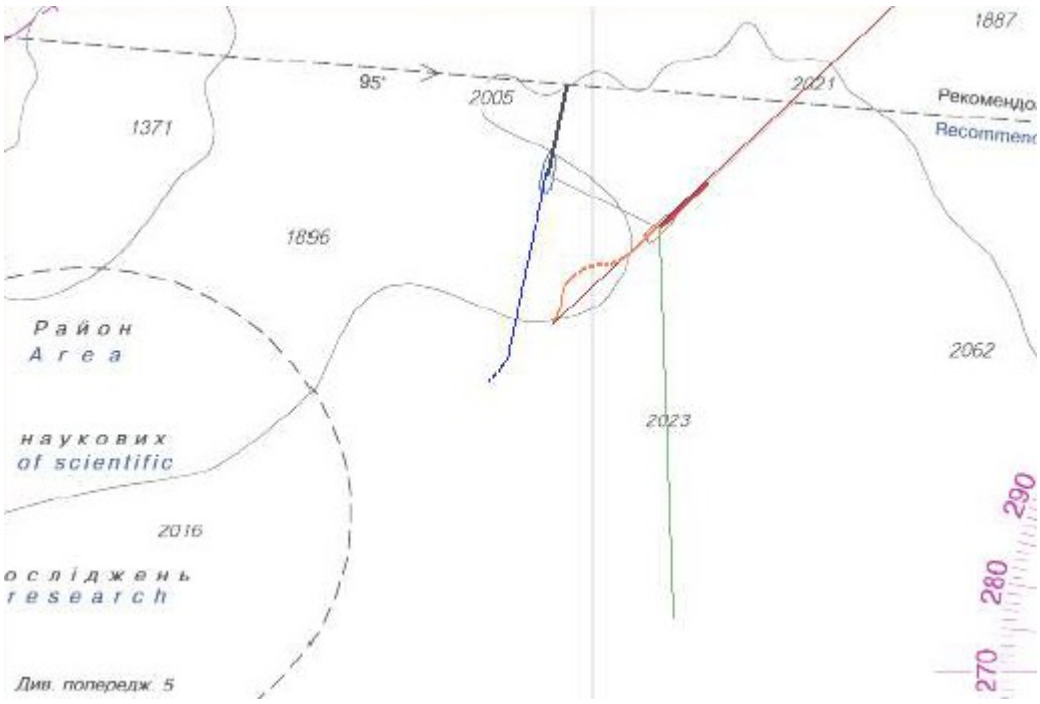


Рисунок 2.4 – судна на исходную торию движения циркуляции

образом, ситуация сближения на попутных возможна, если судна сближается с обгоняющим, его на выполнение маневра расхождения.

Особенностью экстренного является непрерывный за изменением дистанции судном и целью, а выбор судна при экстремальном , который производится по относительной ситуации с маневрирования .

2.3. Учет навигационных и мешающих судов при маневра экстренного

В реальных плавания стесненные изобилуют навигационными и характеризуются интенсивными судоходства. метод расчета маневра расхождения учитывать в районе наличие судов, которые не оперирующему судну исходной траекторией , однако его маневрирование при расхождении с целью.

Наличие опасностей ограничивает допустимых уклонения судна, что должно учитываться при параметров стратегии .

При наличии опасностей и мешающих в районе маневрирования судна для предупреждения с опасной оптимальный курс должен выбираться с указанных обстоятельств.

, оперирующее Vs_{op} уклоняется от опасной Trg_{den} оптимальным курсом пеленгу с цели на судно, т.е. $K_{yop}=\alpha(t)$. имеется мешающее с Vs_m, с которым при следовании K_{yop}, может опасно оперирующее Vs_{op}, как показано на рис. 2.5, причем происходит с начальным курсом K_{otyop},

Как следует из рисунка, кратчайшего сближения судна с мешающим меньше предельно-допустимого R. Граничными курсами по отношению к судну являются K_{otysr} и K_{otyst}.

Как из рисунка 2.5, значения курсов K_{otysr} и K_{otyst} (2.12) определяются из соотношений:

$$K_{otyst}=\alpha(t)+\arcsin\frac{R}{D(t)}, \qquad (2.11)$$

$$K_{yotpr}=\alpha(t)-\arcsin\frac{R}{D(t)}.$$

Где α_o(t) и D (t) – соответственно пеленг и до мешающего .

Подмножество истинных оперирующего судна, являются недопустимыми опасного с мешающим судном, соотношением:

$$M_n=(K_{ym},\ K_{ym*}) \qquad (2.13)$$

Где K_{ym} и K_{ym*}– и нижняя границы истинных .

Если учесть между относительными и курсами, то можно равенства:

$$K_{ym}=K_{otyst}+\arcsin\ [\,p^{-1}\sin(K_c-K_{otyst})\,],$$

$$K_{ym*}=K_{yotpr}+\arcsin\ [\,p^{-1}\sin(K_c-K_{yotpr})\,]. \qquad (2.15)$$

Таким , допустимыми относительно судна курсами оперативного а являются те, которые условию:

$$K_y \notin \left(K_{ym}, K_{ym*}\right)$$

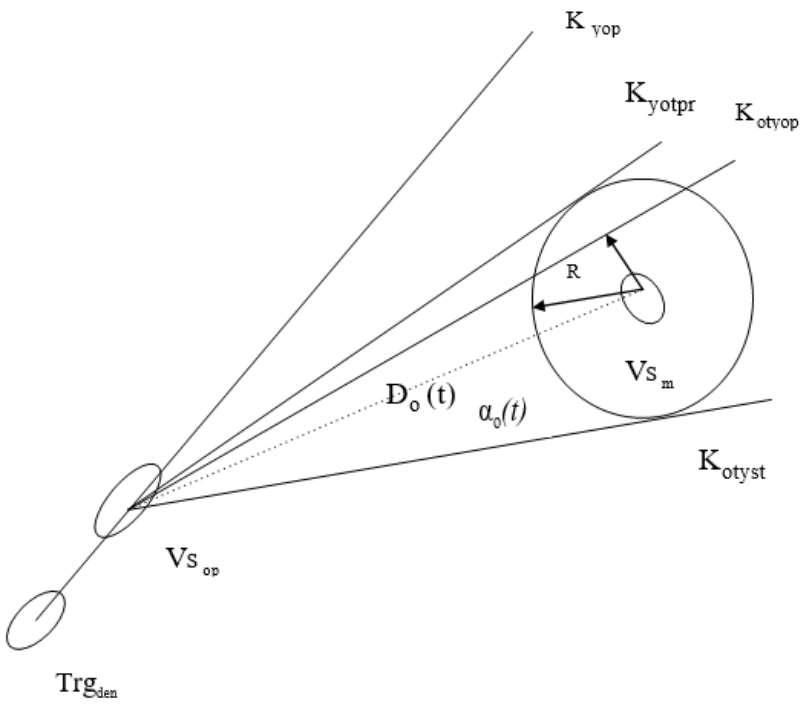


Рисунок 2.5 – курса расхождения при мешающего

Очевидно, ближе к оптимальному курсу K_{yop} будут граничные курсы K_{ym} и K_{ym*}. В курса уклонения K_y судна при наличии судна следует гранично-допустимый , минимально отличный от K_{yop}.

Аналитически это выражается образом:

$$K_y = K_{ym}, \text{ при } \left|K_{ym} - K_{yop}\right| < \left|K_{ym*} - K_{yop}\right|, \qquad (2.16)$$

$$K_y = K_{ym*}, \text{ при } \left|K_{ym} - K_{yop}\right| \geq \left|K_{ym*} - K_{yop}\right|.$$

В ситуациях, характеризуются одновременно навигационных опасностей и судов, выбор уклонения, отличающегося от оптимального, аналогично.

Допустим, линейная распределенная и мешающее рисунок 2.6. Для предупреждения оперирующего судна на получены граничные истинные K_{ysr} и K_{yst}, которые рассчитываются при координатах точек А и В рисунка 2.6. Для того что бы не с мешающим , необходимо по ранее формулам рассчитать допустимые курсы K_{ym} и K_{ym*}.

При оптимальным уклонения является , который, во-первых, не объединению подмножеств (K_{ym}, K_{ym*}), а , во- вторых, минимальное отклонение от равного с цели на , т.е.:

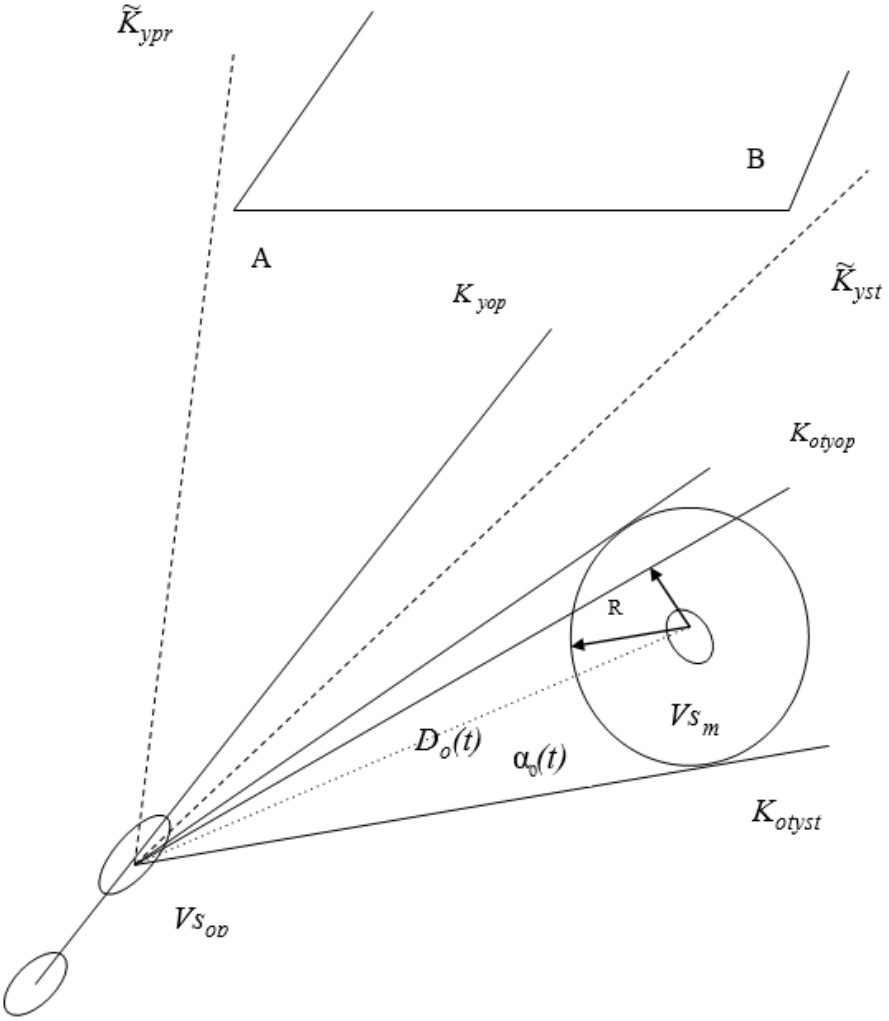


Рисунок 2.6 – Выбор расхождения при мешающего судна и ионной распределенной

Аналогично учитываются опасности и суда на последующих стратегии расхождения.

2.4. маневра расхождения изменением судна

Предупреждение судов достигается изменения их курса или , причем при достаточного водного предпочтение отдается изменения курса . Маневр должен вести к дистанции кратчайшего между судном и .

Поэтому эффективности маневра судна от опасной с учетом приращения кратчайшего является актуальным и .

В работе [5] рассмотрены влияния изменения ров движения на относительный курс, определить корректные , которые ведут к дистанции шего сближения и безопасное расхождение .

Вопросы эффективности стратегий судов исследованы в [6], в которой предложен оценки эффективности стратегий судов, включая одного из судов при параметрах движения судна и совместный маневр судов.

Рассмотрим изменения дистанции сближения D_m с целью в зависимости от судна K_1. Другими , необходимо найти выражение производной дистанции сближения по курсу D_m / K_1, и произвести его анализ при K_1.

С этой вначале найдем дистанции кратчайшего D_m (рисунок 2.7).

Из рис 2.7 следует, что:

$$D_m = D\sin(\alpha - K_{ot}),$$

Где D и α – дистанция и пеленг на ; K_{ot} – относительный курс, является функцией K_1.

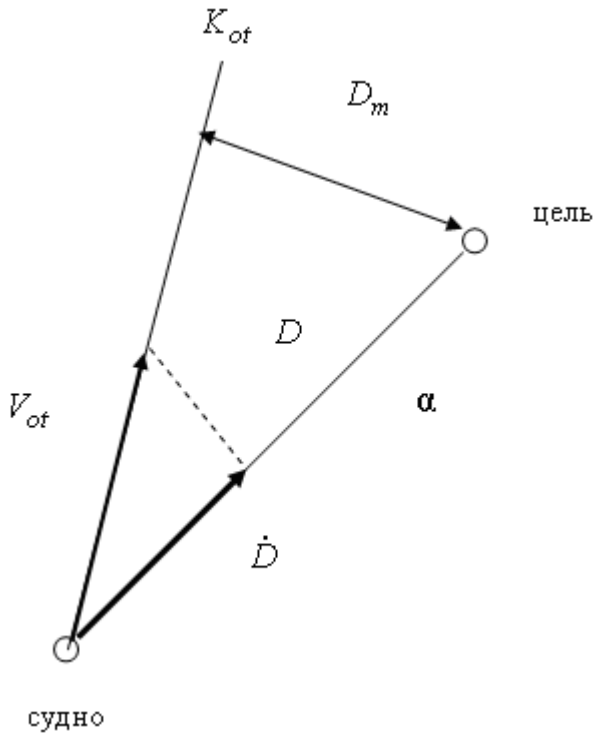


Рисунок 2.7 – скорости сближения D и дистанции D_m

Ситуация сближения возникает при уменьшении дистанции, при этом становится меньше 0. В потребуется выражение для изменения дистанции, которое так же получить из рисунка 2.7. , что в относительном движении является , то:

$$D = -V_{ot}\cos(\alpha - K_{ot}). \tag{2.19}$$

Выполнив 1.1 и 1.2 получим следующее :

$$\frac{D_m}{K_1} = -\frac{D}{V_{ot}} D \frac{K_{ot}}{K_1}. \tag{2.20}$$

Знак также от соотношения величин α и K_{ot}, обозначим q, причем величины q определяется $\sin(K_{ot} - \alpha)$, т.е.

$$q = \sin\left(K_{ot} - \alpha\right) \qquad (2.21)$$

производную K_{ot}/K_1 из работы [5]:

$$\frac{K_{ot}}{K_1} = \frac{V_1\left[V_1 - V_2\cos\left(K_1 - K_2\right)\right]}{V_{ot}}$$

Знак выражения K_{ot}/K_1 знаку выражения $V_1 - V_2\cos\left(K_1 - K_2\right)$.

полученного для первой производной K_{ot}/K_1, что в случае $V_1 > V_2$ первая положительная для всех K_1. Если же $V_1 < V_2$, первой производной иметь как положительное, так и значения.

Это означает, что в случае курс может любые значения от 0 до 2π, а во случае K_{ot} ограничивается значениями K_{otmin} и K_{otmax}. относительным курсам курсы

K_{1min} и K_{1max}, которые в работе [4]:

$$K_{1min} = K_2 + \arccos p \text{ и } K_{1max} = K_2 - \arccos p. \qquad (2.23)$$

Где $p = V_1/V_2$

значения курсов K_{otmin} и K_{otmax} из той же работы:

$$K_{otmin} = \pi + K_2 - arc\sin p,$$

$$K_{otmax} = \pi + K_2 + arc\sin p. \qquad (2.25)$$

Следовательно, при $p < 1$ для истинных курсов из диапазона от 0 до 2π при истинного курса в тех же пределах.

Таким , при $p \geq 1$ знак производной D_m/K_1 знаку q.

В $p < 1$ производная D_m/K_1 имеет

$$\frac{D_m}{K_1} = \begin{cases} q, & K_1 \in \left(K_2 + \arccos\ p,\ K_2 - \arccos\ p\right) \\ -q, & K_1 \in \left(K_2 - \arccos\ p,\ K_2 + \arccos\ p\right) \end{cases}. \qquad (2.26)$$

Данное позволяет выбрать безопасного судна для предупреждения .

2.5. Выводы по второй

В главе произведено описание чрезмерного сближения с целью и определение дистанции кратчайшего .

Показано, что дистанция кратчайшего определяется начальной позицией, параметрами судна и , а также зависит от скоростей судна и :

Установлено, что ситуация сближения в случае, когда дистанция кратчайшего не превосходит по величине предельно-допустимую сближения. Получено выражение указанного реализации ситуации сближения.

процедура формирования экстренного расхождения, из этапа уклонения на , равный пеленгу на цель, и возможных этапов судна на программную движения.

зависимость структуры расхождения от характеристики расхождения и показано, что стратегии в случае может до пяти этапов

процедура учета опасностей и судов в районе судна при расчете экстренного расхождения.

3 бинарной

Система бинарной $c_0(B_z)$ является инструментом для тенденции пары судов при ситуационного возмущения с его компенсации. Первой ситуационного является его ω, возникающее при попадании судов в недопустимых позиций, выявляет грядущую позицию , исходя из прогноза относительной позиции судов. Поэтому оно условный , так как на его истинность влияют действия судов и прогноза. Следовательно, возмущение ω тогда, когда значение дистанции сближения D_{min}

меньше предельно-допустимой сближения D_d, величина зависит от формы недопустимых позиций и сближения .

Второй характеристикой возмущения является запаса t_{z1} u t_{z2} для каждого из судов. времени запаса в следующем. Если при ситуационного возмущения между превосходит значение D_d и может своим обеспечить максимальное дистанции сближения D_{min}, для которого $D_{min} > D_d$, то находятся в допустимой . С течением времени между сокращается, и наступает времени t_{di}, когда равенство $max\, D_{min} = D_d$. При дальнейшем судов с параметрами движения $max\, D_{min} < D_d$ с меньшей скоростью в подмножество недопустимых , причем маневром оно не сможет с другим судно в D_d. Поэтому время t_{z1} равно времени от текущего до момента времени t_{di} судна в подмножество позиций. времени запаса t_{z12} для судов целесообразно из соотношения $t_{z12} = min\,(t_{z1}, t_{z2})$.

Ситуационное ω может три значения (3.1):

$$\omega = \begin{cases} 0, & D_{min} > D_d; \\ 1, & D_{min} \le D_d,\ t_{z12} > 0; \\ 2, & D_{min} \le D_d,\ t_{z12} \le 0. \end{cases}$$

В качестве маневра рассмотрим маневр курса . Очевидно, система $c_0(B_z)$ из двух частей в от реализованного значения возмущения ω. рассмотрим ситуацию $\omega = 1$. Прежде всего, бинарной координации $c_0(B_z)$ удовлетворять необходимого разнообразия Эшби [7], которому разнообразие стратегий расхождения соответствовать возможных ситуационных . В противном случае $c_0(B_z)$ не сумеет компенсировать возмущения, предпосылки для столкновений . В нашем случае это , что система $c_0(B_z)$ должна потенциальной компенсации ситуационного во всех случаях при $\omega = 1$.

С стороны, ситуационное характеризуется недопустимых относительных M_d, при которых существует опасность столкновения, а с другой – система бинарной координации $c_0(B_z)$ имеет возможность сформировать множество безопасных относительных курсов M_s. Опасность столкновения будет предупреждена и ситуационное возмущение будет компенсировано, если множество недопустимых относительных

курсов M_d, будет включено в множество безопасных относительных курсов M_s, то есть $M_d \subset M_s$. В это случае существуют безопасные относительные курсы, позволяющие реализовать стратегию расхождения G, и будут выполнены требования закона необходимого разнообразия Эшби. При ситуационно возмущении начальной относительный курс принадлежит множеству M_d,которое, как показано на рисунке 1, заключено в границах $M_d = (\alpha - \theta,\ \alpha + \theta)$, где $\theta = \arcsin \frac{D_d}{D}$.

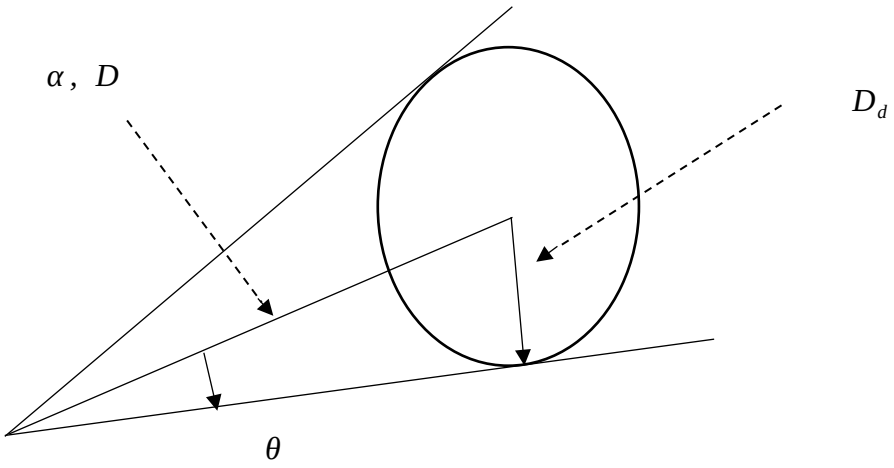


Рисунок 3.1 – Определение множества M_d

Множество M_d можно представить дугой $d = 2 \arcsin \frac{D_d}{D} = 2$, причем $d = \pi$. Рассмотрим множество безопасных относительных курсов M_s, соответствующее маневрированию каждого из судов c_1 и c_2. При маневрировании судна с большей скоростью c_2 изменение его курса на 2π ведет к изменению относительного курса так же на 2π. Если же маневрирует судно с меньшей скоростью c_1, то относительный курс изменяется в пределах от $K_0 = \pi + K_2 - \arcsin p$ до $K_0 = \pi + K_2 + \arcsin p$, как показано в работе [1]. Следовательно множество относительных курсов при маневрировании судна c_1 характеризуется дугой $s = 2 \arcsin p < \pi$.

Таким образом, при маневрировании судна c_2 множества $M_s = 2\pi$ и $M_d \subset M_s$, чего нельзя утверждать в случае маневрирования судна c_1. Закон необходимого

разнообразия Эшби выполняется, если система бинарной координации $c_0(B_z)$ предусматривает компенсацию ситуационного возмущения следующие способами:

- Совестным маневром обоих судов: $c_1 и\ c_2$;
- Маневром судна с большей скоростью c_2

Судно, которому предписывается системой $c_0(B_z)$ выполнение маневра расхождения, будем называть активны, а судно, сохраняющее неизменным параметры движения, - пассивным.

При первом способе совместного маневрирования компенсация ситуационного возмущения производится двумя активными судами. В этом случае необходимо согласование маневров расхождения обоих судов, т.е. их координация. Очевидно, что координация обеспечивает увеличение дистанции кратчайшего сближения при выполнении манёвров расхождения судов. Это происходит, как показано на рисунке 3.2, для судов, сближающихся на встречных курсах, при изменении их начальных курсов в одну сторону (например, при увеличении курсов обоих судов). В случае сближения судов на попутных курсах для координации манёвров расхождения необходимо изменение курсов судов в разные стороны (например, судно c_1 увеличивает курс, а судно c_2 – уменьшает курс).

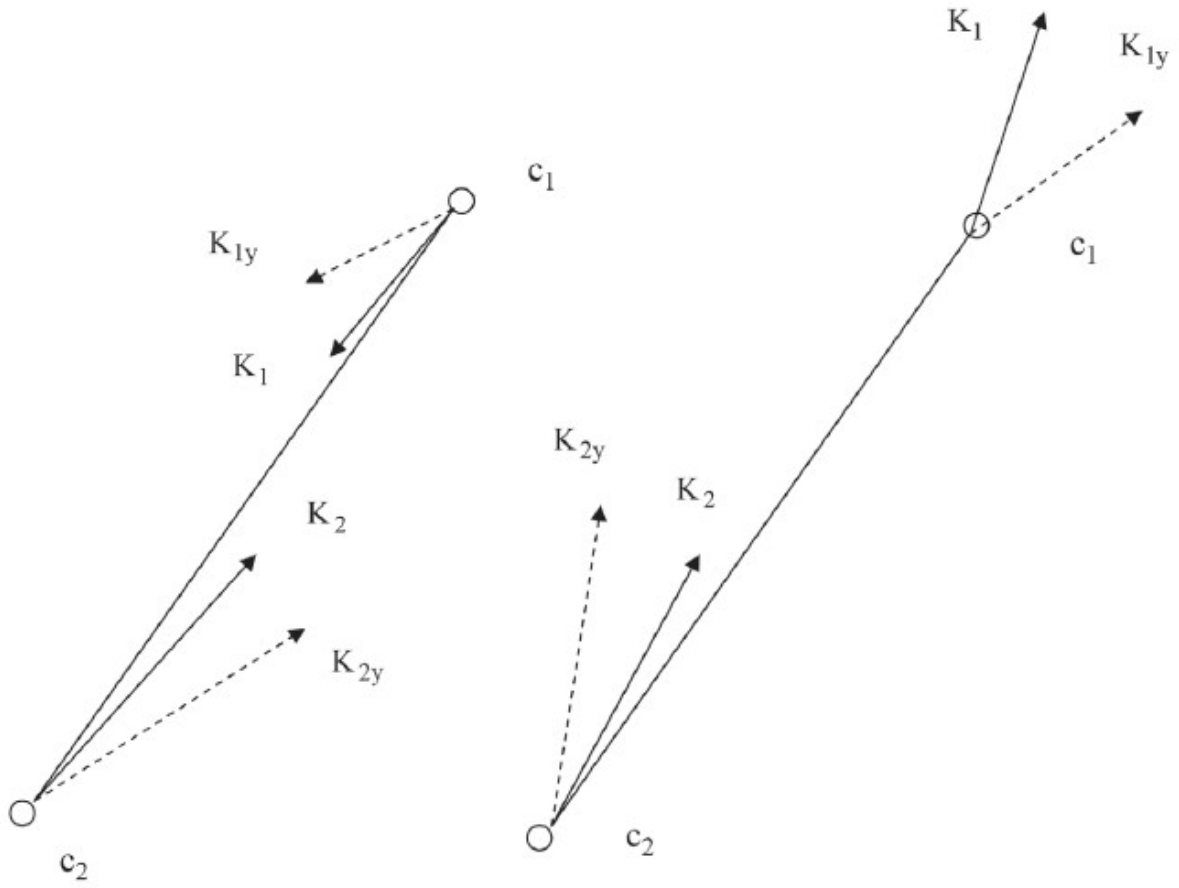


Рисунок 3.2 – Координация маневров расхождения судов

Изменение дистанции кратчайшего сближения D_{min} определяется составляющей суммарной скорости судов

$$V_2 \sin\left(K_{2y} - \alpha\right) - V_1 \sin\left(K_{1y} - \alpha\right), \tag{3.2}$$

перпендикулярной к линии пеленга. Указанная скорость увеличивается, если составляющие скорости имеют разные знаки, чем и обоснованы выводы по координации маневров расхождения двух активных судов.

При втором способе, когда маневрирует только судно с большей скоростью, компенсация ситуационного возмущения производится одним судном, то есть маневр расхождения выполняется одним из судов, в то время как другое судно сохраняет неизменные параметры движения. В этом случае не возникает необходимость в координации. Следует отметить, что бинарная координация служит для обеспечения

выбора безопасных маневров расхождения пары судов из разных подмножеств курсов уклонения, для чего нет необходимости учитывать их динамику (как, например, в МППСС-72) в отличие от учета динамики при расчете параметров маневра расхождения. Также существенным является то, что рассматриваемая система бинарной координации предполагает согласование взаимодействия по расхождению только двух судов, и в ее рамках невозможно рассматривать ситуации опасного сближения большего числа судов.

Система бинарной координации $c_0(B_z)$ должна учитывать сближение судов с учетом их статуса, причем одно судно с большим статусом, как правило, превосходит по скорости судно с меньшим статусом. Для случая $\omega = 1$ основным признаком координации являются статусы судов S_{t1} и S_{t2}. Статус судна характеризует его возможность выполнять маневр расхождения в зависимости от рода его деятельности, конструкции и технического состояния. Правило 18 МППСС-72 предусмотрены следующие статусы судов, расположенных в порядке возрастания:

- суда с механическим двигателем;
- парусные суда;
- рыболовные суда;
- суда, стесненные осадкой;
- суда, ограниченные в возможности маневрировать;
- суда, которые не могут управляться.

Принимаем указанную градацию статусов судов. Если статусы судов не равны, то судно с более высоким статусом является пассивным, а другое судно – активным. В случае одинаковых статусов $(S_{t1} = S_{t2})$ определяющим параметром является скорость судов. В этом случае судно с более высокой скоростью c_2 является активны, а судно c_1 – пассивным. В случае равенства скоростей ($V_2 = V_1$) оба судна являются активными и изменяют своих курсы в зависимости от того, на каких (встречных или попутных) курсах они сближаются, как рассматривалось ранее. В случае $\omega = 2$ координатор $c_0(B_z)$ предписывает компенсацию ситуационного возмущения экстренным маневрированием.

4 Определение структуры системы

В данном подразделе рассмотрим основную задачу, которая заключается в определении алгоритма выбора маневра экстренного расхождения в ситуации чрезмерного сближения с использованием бинарной координации.

Анализируется ситуация опасного сближения двух судов, характеризующаяся ситуационным возмущением, значение которого зависит от соотношения дистанции кратчайшего сближения и предельно-допустимой дистанции. Причем ситуационное возмущение может принимать значение, равное единице при котором расхождение

производится стандартным маневрированием, и значение, равное которое требует использование маневра экстренного расхождения.

Рассмотренная система бинарной координации учитывает требование закона необходимого разнообразия Эшби, который предусматривает соответствие разнообразия имеющихся курсов уклонения разнообразию возможных опасных курсов сближения. Показано, что это требование выполняется при компенсации ситуационного возмущения одновременным маневром обоих судов, либо маневром судна с большей скоростью.

Система бинарной координации, которая предложена в данной работе, содержит два уровня. Первый из них реализуется, когда ситуационное возмущение принимает значение, равное единице, и взаимные обязанности судов определяемые с учетом соотношения статусов и скоростей. При значении ситуационного возмущения, равного двум имеет место второй уровень и предусмотрено экстренное маневрирование обоих судов. При сближении двух судов с одинаковыми статусами и скоростями их взаимные обязанности определяются тем, являются ли их курсы сближения встречными или попутными.

Для анализа данной стратегии будут моделироваться различные ситуации опасного сближения двух рыбопромысловых судов БАТМ «Нивенское» рисунок 5.1 обозначим данное судно как «Судно 1» и судно типа моонзунд «Куршская коса» его обозначим «Судно 2» рисунок 5.2. Далее приведена информация о данных рыбопромысловых судах.



Рисунок 5.1 – Батм «Нивенское»

Проект: 1288, тип пулковский меридиан

Большой морозильный рыболовный траулер.

Место постройки: Черноморский ССЗ (Украина, г. Николаев)

Построено: 03.1991г

Приписка: Калининград РФ

Позывной: UAUK

IMO: 8843018

MMSI: 273240700

Бортовой №: К-1966

Назначение:

— лов рыбы донным и разноглубинным тралами;

— переработка рыбы в мороженую продукцию в разделанном и неразделанном виде, переработка непищевого прилова и отходов рыбообработки на кормовую муку и

технический жир;

— приготовление консервов из печени трески и выработка полуфабриката медицинского жира;

— хранение вырабатываемой продукции, сдача ее на транспортные рефрижераторы или транспортирование в порт.

Характеристики:

Длина наибольшая, м: 103,7

Длина между перпендикулярами, м: 96,4

Ширина наибольшая, м: 16

Высота борта до верхней палубы, м: 10,2

Осадка средняя в грузу, м: 5,87

Водоизмещение наибольшее, т: 5720

Дедвейт, т: 1904

Грузоподъемность, т: 1364

Температура в трюмах, С: -28; 20

Скорость, уз: 14,3

Автономность плаванья по запасам топлива, сут: 70

Количество коечных мест: 94

Район плаванья: неограниченный

Энергетическая установка: дизель-редукторная

Мощность главного двигателя, кВт(л.с.): 2х2580 (3500)

Энерговооруженность, кВт (л.с.): 5820 (7900)

Производительность технологических линий:

— мороженой продукции: 60 т/сут.

— консервов: 6 туб/сут.

— п/ф медицинского жира из печени тресковых видов рыб (по сырью): 2,4 т/сут.

— кормовой рыбной муки и технического жира (по сырью):30-35 т/сут.



Рисунок 5.2 – Моонзунд «Куршская коса»

Проект: Атлантик-488, тип Моонзунд

Приписка: Калининград РФ

IMO: 8607206

Позывной: UBCI

MMSI: 273532110

Назначение:

— лов рыбы донным и разноглубинным тралами

— переработка рыбы в мороженую продукцию

— выработка рыбных консервов и полуфабриката медицинского жира

— переработка непищевого прилова и отходов рыбообработки на кормовую муку и технический жир

— хранение и передача вырабатываемой продукции на транспортные рефрижераторы или транспортировка в порт

Характеристики:

Длина габаритная: 120,47 (120,43) м

Длина между перпендикулярами: 107,00 м

Ширина габаритная: 19,02 м

Ширина расчетная: 9,00 м

Высота борта до верхней палубы: 12,22 м

Осадка средняя в грузу: 6,63 м

Водоизмещение наибольшее: 9260 т

Дедвейт: 3459 т

Регистровая вместимость валовая / чистая: 7704 / 2311 рег.т

Грузоподъемность: 2047,7 т

Автономность плавания: 96 сут

Дизельное топливо: 116,6 т

Тяжелое топливо: 2038,4 т

Пресная вода: 166,1 т

Скорость: 15,06 уз

Количество коечных мест: 115

Производительность технологических линий:

— Мороженая рыба: 60 т/сут.

— Рыбные консервы: 25000 банок/сут.

— Рыбная мука и технический жир: 50-60 по сырью т/сут.

— Жир из печени: 4 по сырью т/сут.

В данной работе будут рассмотрены ситуации опасного сближения двух рыболовных судов, принимая указанную градацию судов в третьей главе навигационные статусы обоих судов равны $(S_{t1} = S_{t2})$ и определяющим параметром будет являться скорость судов и их расположение относительно друг друга.

Так же будет учитываться вторая характеристика ситуационного возмущения запаса T_{z1} u T_{z2}. Данная величина характеризуется ситуационным возмущением дистанции между судами D_d и судно может своим маневром обеспечить максимальное значение дистанции кратчайшего сближения, например в ситуации, показанной на

Рисунок 5.3. В нашем случае судно C_1- Батм «Нивенское» и судно C_2 – Моонзунд «Куршская коса». Представим C_1 следует курсом 195 градусов K_1 со скоростью 10 узлов. C_2 следует курсом 15 градусов K_2 со скоростью 12 узлов.

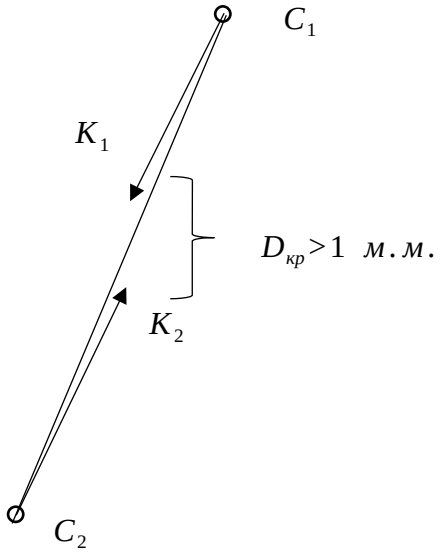


Рисунок 5.3 Ситуация сближения двух рыбопромысловых судов

Для данной ситуации $D_{min} \geq 1$ м.м. Значит суда находятся в допустимой позиции. С течением времени дистанция между судами сокращается и наступает момент времени, когда $D_{min} < 1 м.м.$

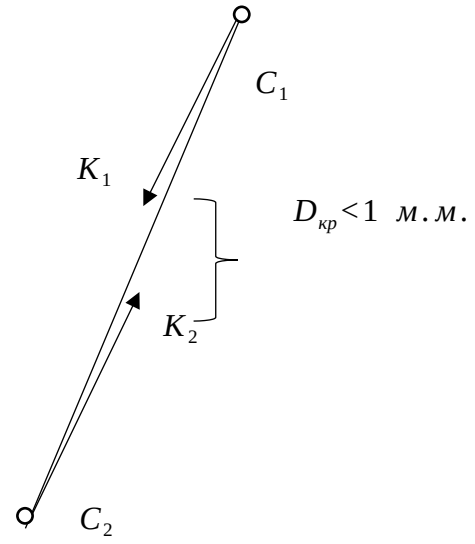


Рисунок 5.4 Ситуация опасного сближения двух рыбопромысловых судов

При дальнейшем сближении судов с исходными параметрами движения $D_{min} < 1 м.м.$ появляется ситуационное возмущение и судно с меньшей скоростью нашем случае первое судно попадает в подмножество недопустимых значений. Причем никаким маневром оно не сможет разойтись с другим судном в дистанции кратчайшего сближения.

Рассмотрим первую ситуацию когда $D_{min} < 1 м.м.$ для нашего случая область допустимых курсов будет заключена в границах

$$M_d = 195 - 5,\ 195 + 5. \tag{5.1}$$

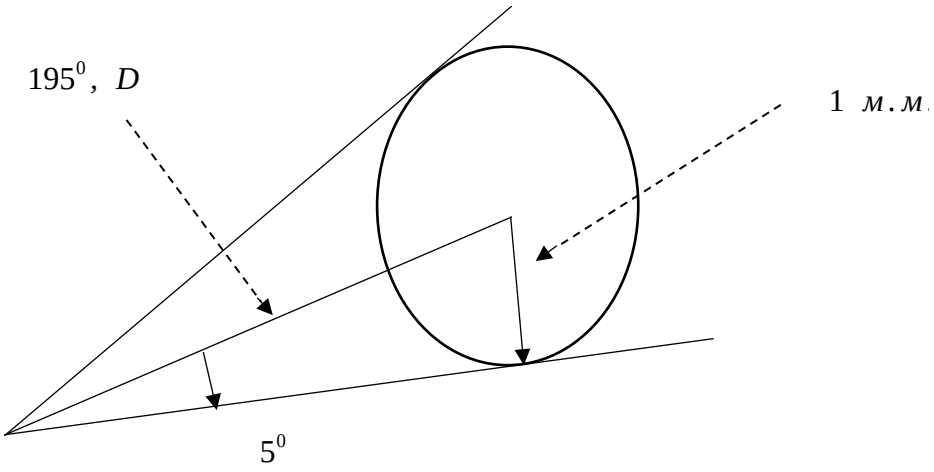


Рисунок 5.5 Определения множества опасных курсов

Если маневр будет совершать первое судно, то его курсы изменятся в пределах

$$K_{1min} = 190^0 \ и \ K_{1max} = 200^0, \tag{5.2}$$

Второго судна

$$K_{2min} = 10^0 \ и \ K_{2max} = 20^0. \tag{5.3}$$

Таким образом, закон необходимого разнообразия Эшби выполняется, так как запаса времени хватит для маневра первого судна, так же, как и для второго.

Судно, которому предписывается системой выполнения маневра расхождения будем называть активным, а судно, сохраняющее неизменным параметры движения – пассивным.

В данном случае необходимо согласование маневров расхождения обоих судов, т.е. их координация. Координация увеличивает дистанцию кратчайшего сближения при выполнении манеров расхождения судов.

В случае сближения судов на попутных курсах для координации маневров расхождения необходимо изменение курсов обоих судов вправо.

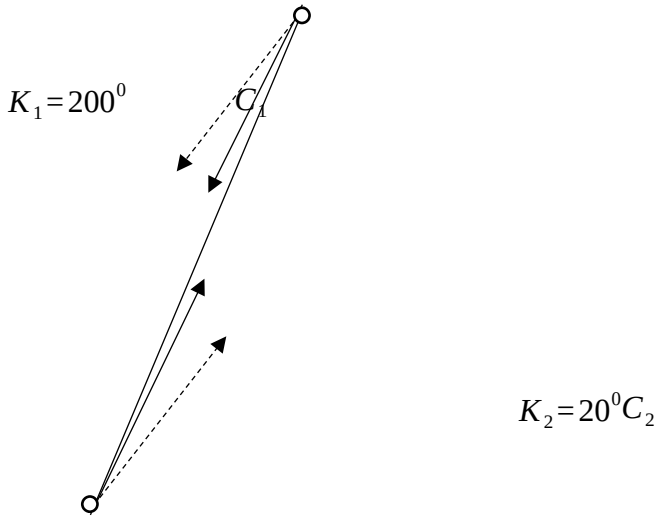


Рис 5.6. Ситуация выполнения маневра

Так же изменение дистанции кратчайшего сближения судов определяется составляющей суммарной скорости судов:

$$D_{min} = 12\sin(15+5) - 10\sin(195+5), \qquad (5.4)$$

$$D_{min} = 0{,}5 \;\; м.м.$$

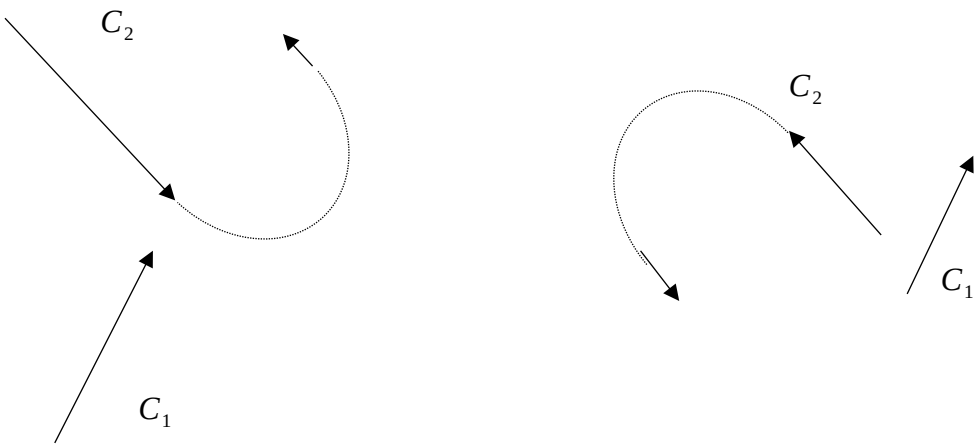
Данная величина перпендикулярна к линии пеленга.

При втором способе, когда в нашем случае маневрирует судно с меньшей скоростью, компенсация ситуационного возмущения будет произведена одним судном и в нашем случае маневр выполнит C_2.

Следует отметить, что бинарная координация служит для обеспечения маневров пары судов из разных курсов уклонения, для чего нет необходимости учитывать их динамику.

В случае равенства скоростей оба судна будут активны и должны соответственно принимать меры и изменять свои курсы в зависимости от того, на каких встречных или попутных курсах они сближаются. В случае если допустимая дистанция предельно мала необходимо выполнять маневр экстренного расхождения. Судно, которое должно уступить дорогу предположим, что суда идут пересекающимися курсами и суда должны действовать согласно правилу 15 МППСС-72 [1]. Предположим, что в момент возникновения ситуации чрезмерного сближения (нулевой момент времени) судно, должно лечь на курс K_0, который равен обратному пеленгу на цель что указано на рис 5.7. $K_0 = 185 - 180$. При этом данный маневр должен производится в сторону от направления на опасную «цель» и при максимальной угловой скорости. Этот этап данной стратегии можно назвать «убеганием» от опасной цели и главной задачей этого этапа – изменение максимального значения скорости изменения параметров движения, а именно изменение дистанции между судном и опасной целью. За исходные параметры в данной работе примем то, что скорость цели V_c меньше скорости судна, которое должно уступить дорогу V_0, то есть $V_c < V_0$. В нашем случае второе судно должно лечь на курс 5 градусов.

Данный маневр позволяет скомпенсировать ситуацию чрезмерного сближения, позиция судна относительно «цели изменяется так, чтобы судно оказалось в ситуации обеспечивающей безопасное сближение и вследствие чего движение судна по исходной линии пути.



Начало маневра Конец маневра (выход на исходный курс)

Рис. 5.7. Использование экстренных мер расхождения

В главе произведено формализованное описание ситуации чрезмерного сближения судна с целью и применения системы бинарной координации различных ситуациях опасного сближения двух рыбопромысловых судов.

Показано, что максимальная дистанция кратчайшего сближения определяется начальной относительной позицией, параметрами движения судна и цели, а также зависит от соотношения скоростей судна и цели.

Получен результат применении данной стратегии в результате аналитического и практического применения.

Заключение

Рассмотренные в данной дипломной работе теоретические аспекты существующих стратегий расхождения в ситуации и чрезмерного сближения судов имеют практическую ценность в части обеспечения безопасности мореплавания.

В ходе выполнения дипломной работы была достигнута главная цель – проанализирована ситуация опасного сближения двух судов в зависимости от соотношения дистанции кратчайшего сближения и предельно-допустимой дистанции. Определена структура системы бинарной координации маневров расхождения опасного сближения рыбопромысловых судов

Для достижения цели дипломной работы были решены следующие задачи:

- проведен аналитический обзор научной и специальной литературы;
- проведен анализ структуры МППСС-72 в части расхождения и применения системы бинарной координации.
- проведен анализ стратегий расхождения судов в ситуации чрезмерного сближения;
- проведен анализ модели бинарной координации;
- проведена формализацию ситуации чрезмерного сближения промысловых судов с целью, исходя из сложившейся их относительной позиции и параметров движения, а также учитывая требования МППСС-72 в части маневрирования судов при опасном сближении.

В процессе исследования были детально проанализированы и сравнены различные стратегии расхождения судов при опасном и чрезмерном сближении и сделан синтез систем бинарной координации при расхождении судов, пригодная для использования на промысловых судах для повышения безопасности плавания и безопасности ведения промысла. Следует также заметить, что эта методика принимает во внимание маневренные характеристики, размеры, курсы и скорости сближающихся судов, а также правила МППСС-72.

Инженерным результатом дипломной работы является полученный результат в виде алгоритма при применении бинарной координации при расхождении

промысловых судов. Новизна инженерного результата состоит непосредственно в конкретизации известных данных, а именно разработка универсального алгоритма при выборе маневра расхождения судов при малых дистанциях сближения и в условиях неопределенности ее поведения, а так же способ идентификации в ситуации чрезмерного сближения.

Практическим применением дипломной работы может являться непосредственное использование представленной методики на промысловых судах, а также её использование для обучения курсантов судоводительского факультета рыбопромысловых учебных заведений и тренажерной подготовки специалистов флота; представляется возможным дальнейшее развитие методики и внедрение её в САРП и другие системы, направленные на повышение безопасности мореплавания.

Задачи, поставленные в задании по ВКР решены. Цель достигнута.

Список использованных источников

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
2. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, – Заарбрюкен (Германия), 2014. – 202 с.
3. Международные правила предотвращения столкновения судов 72 года. - М.:Росконсульт:МГАВТ, 2001.-96 с.
4. Бурмака А.И. Разработка стратегии расхождения судов в ситуации опасного сближения / Бурмака А.И. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 20. – Одесса: «ИздатИнформ», 2011 – С. 32-35.
5. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов/ Пятаков Э.Н., Заичко С.И. // Судовождение. – 2008. - № 15. – С.166-171.
6. Булгаков А.Ю. Расчет изменения относительного курса в автоматизированных системах принятия решений // Проблемы техники научно-выборочный журнал. – 2013. - №4. – С. 107-118.
7. Эшби У.Росс. Введение в кибернетику / У. Росс Эшби. – М.: Мир, 1959. – 256с.