

УДК 656.61.052

**PREVENTION OF COLLISION AT EXCESSIVE APPROACH****ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ПРИ  
ЧРЕЗМЕРНОМ СБЛИЖЕНИИ**

**L.L. Vagushchenko<sup>1</sup>**, *DSc, professor*, **A.A. Vagushchenko<sup>2</sup>**, *2<sup>nd</sup> Officer*  
**Л.Л. Вагущенко<sup>1</sup>**, *д.т.н., профессор*, **А.А. Вагущенко<sup>2</sup>**, *2-й помощник  
капитана*

<sup>1</sup>*National University Odessa Maritime Academy, Ukraine*

<sup>2</sup>*SC «V.Ships (Ukraine)»*

<sup>1</sup>*Національний університет Одеська Морська Академія, Україна*

<sup>2</sup>*ДП «В.Шипс (Україна)»*

**ABSTRACT**

The method of selecting measures to evade the dangerous target in situations of excessive approach, based on the graphic model for forecasting the results of own ship actions. Generalized recommendations for actions in such situations are presented. Reaction of the own ship to the operating influence is predicted by means of her nonlinear differential model considering interdependence of kinematic parameters of this ship.

**Keywords:** collision avoidance, excessive approach, maneuvers planning.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.**

Одной из сложных задач судовождения является определение действий для предупреждения столкновения в ситуациях чрезмерного сближения двух судов. Сам факт такого сближения говорит о серьезном нарушении МППСС-72 обоими судами, или об ошибках в выбранных для расхождения действиях одного из них. Несмотря на редкость таких коллизионных ситуаций, они должны исследоваться с целью определения путей и рекомендаций для их эффективного разрешения.

**Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.**

Определению срочных мер для расхождения судов в ситуациях чрезмерного сближения посвящен ряд работ, например, [2-5]. Многосторонне эта задача рассмотрена в монографии [1]. Тем не менее, остаются не полностью проработанными вопросы корректного учета в рассматриваемых ситуациях динамических свойств судов, их размеров, а также выбора рациональных мер для предотвращения столкновения и возвращения к программной линии пути.

**Формулировка целей статьи (постановка задачи).**

Целью статьи является определение, на основе применения специальной изобразительной модели коллизионных ситуаций чрезмерного сближения, путей их разрешения с корректным учетом динамики и размеров судов.

**Изложение материалов исследования с обоснованием полученных научных результатов.**

Ниже коллизионной для двух судов считается ситуация, развитие которой при отсутствии действий этих судов приводит к столкновению. Коллизионную ситуацию в условиях чрезмерного сближения судов будем называть экстремальной. Из-за дефицита времени на разрешение таких ситуаций целесообразна информационная помощь судоводителю со стороны компьютера. Она возможна при обмене данными между судами по линии АИС. Выбор действий в экстремальной ситуации зависит от ее особенностей (размеров судов, величины и соотношения их скоростей, расстояния между ними, геометрии сближения, навигационных условий) и целей, которые хотят достичь в результате этих мер. Здесь, по возможности, стараются:

- уменьшить на начальном этапе расхождения скорость сближения судов;
- не пересекать курс «цели» по носу;
- учесть вероятное действие «цели»;
- обезопасить себя на случай неблагоприятного маневра «цели»;
- разойтись с «целью» на максимально возможной дистанции.

Важными в экстремальных ситуациях оказываются любые дополнительные данные о действиях другого судна, в том числе обеспечиваемые компьютерным контролем АИС информации, а также сигналы об инициации изменения курса и/или скорости. По увеличению частоты посылки «целью» АИС данных и анализу их изменения могут быть установлены предпринимаемые ей меры, в частности – сторона поворота. Можно выделить два вида задач в экстремальной ситуации: определение мер, когда «цель» еще не начала своих действий; и выбор маневра при установлении отклонения «цели» от своего курса. Ниже уделено внимание решению только первой из этих задач с помощью сильных маневров курсом.

При обнаружении экстремальной ситуации собственному судну (OS – ownship) нужно выбрать начальный вариант маневра, незамедлительно начать его выполнение с обязательным оповещением другого судна об этом возможными способами. В процессе поворота необходим непрерывный анализ значений параметров движения «цели», получаемых по линии АИС, чтобы во время выявить ее маневр и скорректировать свои действия. Этот анализ может выполняться компьютером с выработкой сигнала об обнаружении маневра «цели».

Для анализа расхождения в экстремальных ситуациях нами была разработана программа имитации таких процессов. В ней для описания движения судов применена стандартная нелинейная модель в виде взаимосвязанной системы дифференциальных уравнений [3]. Она была

приведена к разностному виду и дополнена алгоритмами выработки сигналов управления для выполнения обоими судами следующих операций:

- стабилизации курса;
- поворотов на заданный угол вплоть до  $360^0$  вправо и влево;
- удержания другого судна на заданном курсовом угле.

Отображение моделируемых процессов сближения судов выбрано таким, чтобы обеспечить, по возможности, быстрое понимание экстремальных ситуаций и оперативный выбор действий для расхождения. Для оценки ситуаций сближения судов разработаны основная и дополнительная формы отображения. Первая позволяет установить, какой маневр (торможение, уклонение вправо или влево) даст лучший результат при отсутствии действий цели. На этой форме (рис. 1) показываются прогнозы траекторий трех маневров OS: циркуляций вправо и влево с максимальной перекладкой руля и торможения работой машины на полный задний ход. На траекториях отмечаются участки роста и уменьшения дистанции между OS и «целью», выделяются точки ( $W_P$ ,  $W_S$  - на циркуляциях,  $W_Z$  - на пути торможения), при окончании маневров в которых расстояние кратчайшего сближения (CPA) при расхождении будет максимальным.

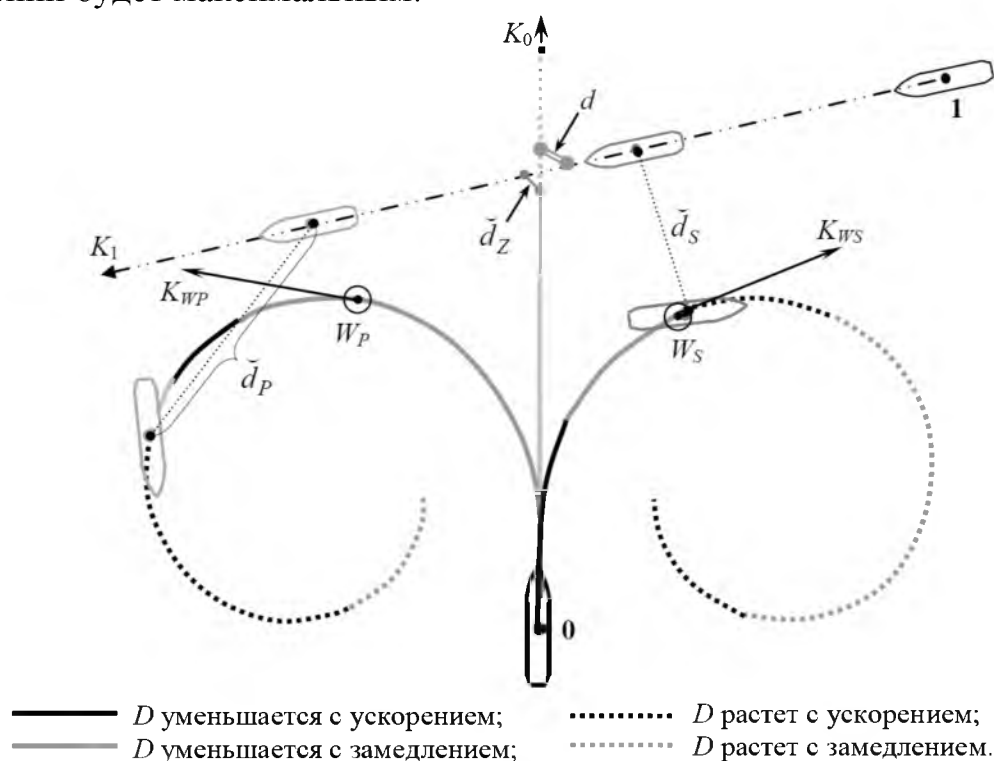


Рис. 1. Схема, поясняющая основную форму отображения данных

В цифровом виде представляются:

$K_0$ ,  $V_0$  и  $K_1$ ,  $V_1$  - курс, скорость OS и «цели», отвечающие планам их перехода;  
 $d$ ,  $\tau$  - CPA, TCPA при плановых значениях параметров движения судов;  
 $\Pi$ ,  $D$  - пеленг и дистанция «цели»;

$\check{d}_Z, \check{d}_P, \check{d}_S$  и  $\check{t}_Z, \check{t}_P, \check{t}_S$  - минимальное расстояние между OS и «целью» и время до его момента от начала маневра при торможении, циркуляции влево, вправо;

$\theta_{WP}, \theta_{WS}$  и  $t_{WP}, t_{WS}$  - углы поворота с окончанием в точке  $W_P, W_S$  и время поворота OS на эти углы;

$K_{WP}, K_{WS}$  - курсы OS относительно грунта в точках  $W_P, W_S$ ;

$d_{WP}, \tau_{WP}$  и  $d_{WS}, \tau_{WS}$  - СПА, ТСПА на курсах  $K_{WP}$  и  $K_{WS}$ .

Для учета размеров судов на прогнозируемых траекториях OS и «цели» в точках минимального расстояния между судами показываются их контуры в масштабе отображения. Следует отметить, что данные основной формы соответствуют текущему моменту и в процессе движения судов меняется.

Для выбора конкретного изменения курса или скорости с прогнозом его результатов, в том числе и с учетом предполагаемого действия «цели», служит дополнительная форма отображения информации. Она появляется при указании курсором точки конца намечаемого маневра на одной из трех траекторий основной формы. На дополнительной форме для выбираемого курсором маневра OS представляется прогноз истинного движения судов и перемещения «цели» относительно OS. Предусмотрена возможность отображения этой формы: для поворотов вправо или влево на  $360^0$ ; на угол, при котором (когда «цель» не предпринимает мер) дистанция расхождения максимальна; и на угол, чтобы лечь на курс, параллельный курсу «цели».

Для определения рационального поведения судов в экстремальных ситуациях с целью уменьшения вероятности их противоречивых действий, с помощью имитационной программы были смоделированы и проанализированы многочисленные примеры срочного расхождения изменением курса. Их результаты позволили рекомендовать следующее.

В ситуациях (отнесем их к первой категории), в которых угол пересечения линий курсов, на сторонах которого находятся суда, больше 12 румбов (приблизленно), или курсы противоположны, обоим судам, по возможности, следует избегать изменения курса влево. Для пояснения обоснованности этого предложения приведем упрощенную основную форму отображения двух типичных ситуаций (обозначим их *A* и *B*) такой категории (рис. 2, 3, где OS имеет номер 0, а «цель» - 1).

В ситуации *A*, по нашему мнению, целесообразнее OS изменить курс вправо, так как это соответствует практике заблаговременного расхождения и не приводит к возможному пересечению курса «цели» по носу, как это может произойти при повороте влево. В ситуации *B* (см. рис. 3) по этим же причинам более вероятно, что «цель» повернет вправо. Поэтому и для OS в ней предпочтителен поворот вправо.

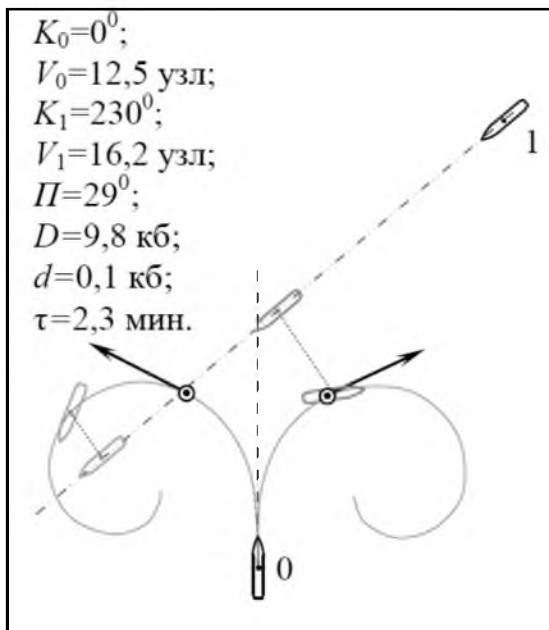


Рис. 2. Основная форма отображения ситуации А

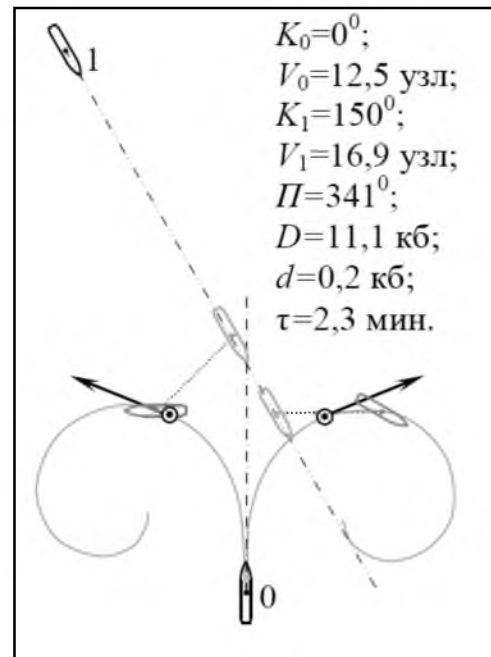


Рис. 3. Основная форма отображения ситуации В

Чтобы в ситуациях первой категории разойтись на максимально возможной дистанции и быстро возвратиться к программному курсу/траектории для каждого из судов предлагается вариант действий, названный КУ90. Он состоит в изменении курса вправо с приведением другого судна на курсовой угол (КУ)  $90-110^{\circ}$ , удержания его на этом КУ, и, после перехода на изменение курса влево, возвращения к курсу/траектории плана перехода. Примеры такого маневрирования с возвращением к плановому курсу для ситуации А представлены на рис. 4 и 5. В первом случае «цель» не изменила параметры своего движения, а во втором, как и OS, выполнила маневр КУ90. Кратчайшее расстояние в первом случае между судами составило 2.0 кб, а во втором – 4.6 кб.

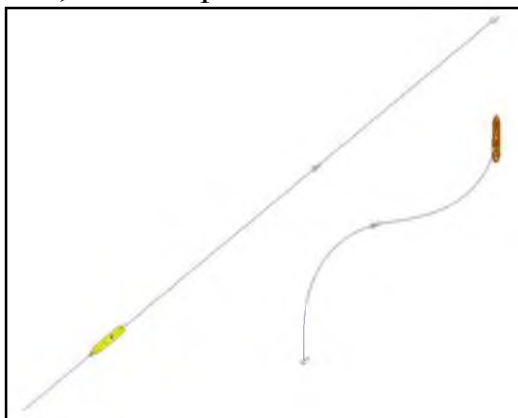


Рис. 4. Уклонение OS от «цели» в ситуации А

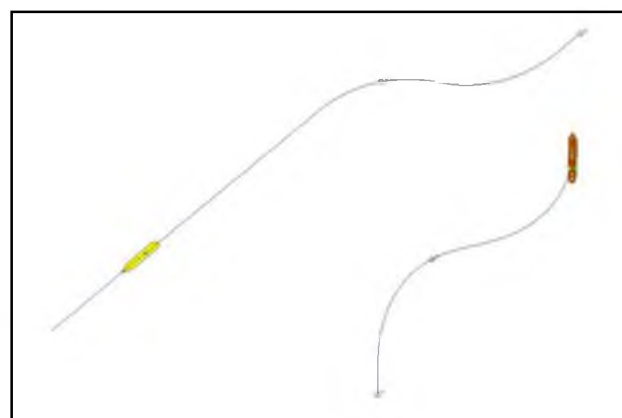


Рис. 5. Совместное разрешение судами ситуации А

Для других экстремальных ситуаций с пересекающимися курсами (отнесем их ко второй категории) здесь в общем случае, как и в работе [1], рекомендуется обоим судам, по возможности, изменять курс в сторону от

направления на другое судно. Так как дальнейшие действия другого судна неизвестны, целесообразно вначале привести и удерживать судно на курсе, равном обратному пеленгу на другое судно (назовем этот вариант действий КУ180), а затем с учетом поведения «цели», соотношения скоростей судов и других факторов, выбирать вариант возвращения к курсу/траектории плана перехода. Когда поворот от направления на другое судно опаснее поворота в противоположную сторону, можно курс изменить и в сторону другого судна. В этом случае можно применить маневр КУ90. Так, например, в ситуации (обозначим ее С), упрощенная основная форма которой показана на рис. 6, поворот OS в сторону от «цели» приведет к столкновению с ней, если она не предпримет мер. Поворот OS в другую сторону с реализацией варианта КУ90<sup>0</sup> обеспечивает расхождение с «целью» (рис. 7). Отметим, что содействующим мерам OS в этом случае является маневр «цели» КУ90<sup>0</sup> в сторону от направления на OS.

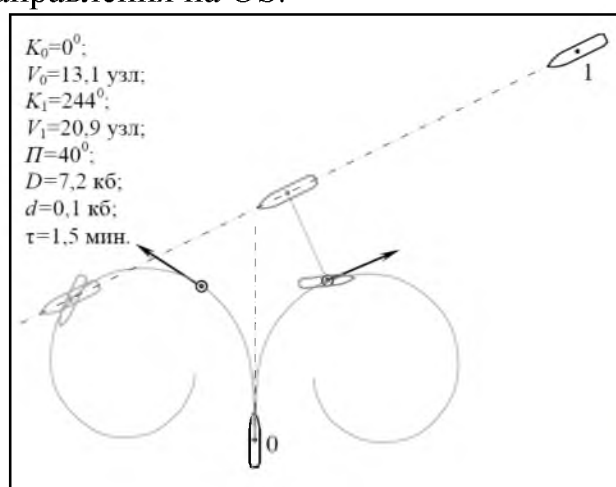


Рис. 6. Основная форма отображения ситуации С

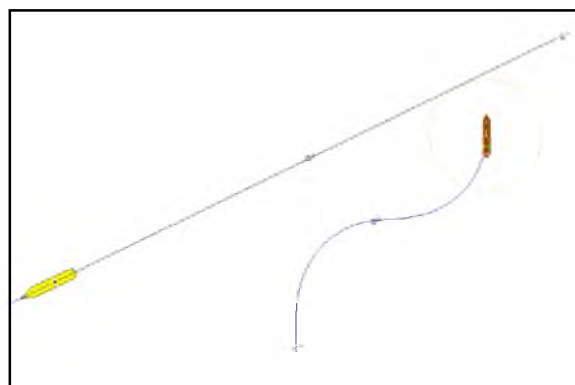


Рис. 7. Уклонение OS от «цели» в ситуации С

В вышеприведенных рекомендациях оговорка «по возможности» означает обязательность проверки безопасности выбираемого действия, так как встречаются случаи, когда следование обобщенной рекомендации может привести к столкновению или к посадке на мель.

Как было отмечено выше, в ситуациях второй категории при выборе OS отворота от «цели» и маневра КУ180, меры OS по возвращению к плану перехода выбираются с учетом поведения «цели», соотношения скоростей судов и других факторов. Ввиду многовариантности дальнейшего развития ситуации в этом случае требуется индивидуальный подход к определению дальнейших мер OS. Ниже рассмотрим эту задачу только в ситуациях, в которых скорость OS меньше скорости «цели», и «цель» либо не маневрирует, или выбирает в ответ на меры OS поворот в сторону OS.

Действия OS на случай отсутствия мер «цели» можно прогнозировать по общей форме отображения ситуации сближения судов. Для ситуаций второй категории, в которых  $V_0 < V_1$  и угол между линиями курсов, на сторонах которого находятся суда, больше 90<sup>0</sup>, рациональным действием OS обычно является циркуляция. В качестве примера можно привести ситуацию

(обозначим ее  $D$ ), по общей форме отображения которой (рис. 8) легко установить целесообразность циркуляции для возвращения к плановому курсу при непринятии мер «целью» в процессе совершения OS маневра КУ180 от направления на «цель».

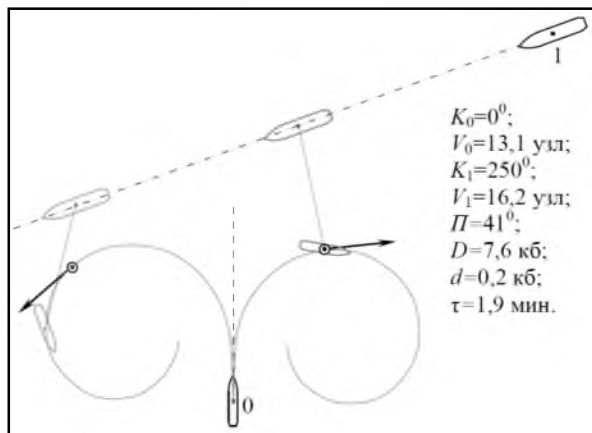


Рис. 8. Основная форма отображения ситуации  $D$

Если угол между линиями курсов, на сторонах которого находятся суда, меньше  $90^\circ$ , то нередко более быстрое, чем при циркуляции, возвращение к плану перехода достигается при определенном уходе OS от линии курса «цели» с помощью маневра КУ180 с последующим поворотом в противоположную сторону для возвращения на плановый курс или на плановую траекторию под небольшим углом к ней. В качестве примера приведем ситуацию (обозначим ее  $E$ ), обобщенная форма отображения которой показана на рис. 9. Возможный вариант расхождения в ней представлен на рис. 10.

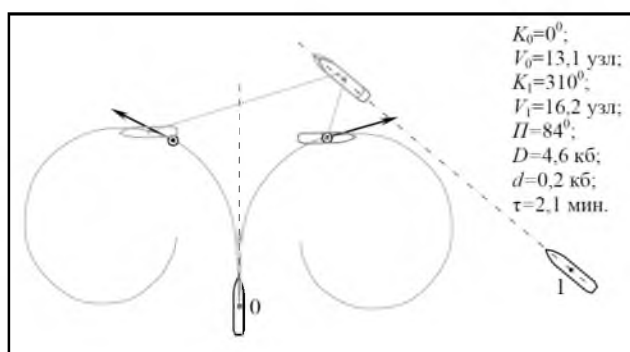


Рис. 9. Основная форма отображения ситуации  $E$

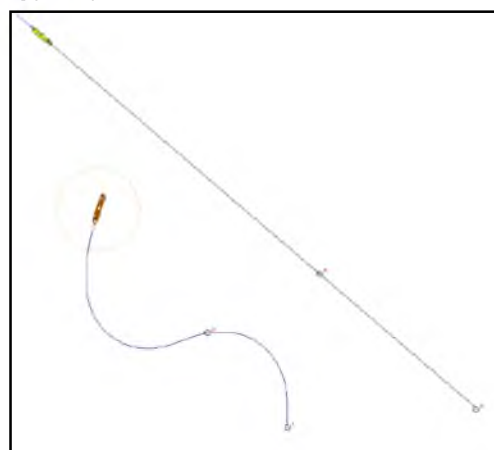


Рис. 10. Вариант расхождения в ситуации  $E$

Если в ситуациях второй категории после начала OS маневра КУ180 в сторону от направления на «цель», она по какой-либо причине выбрала изменение курса в сторону OS, то в процессе выполнения своего маневра OS после изменения стороны поворота может возвратиться к прежнему курсу. Это иллюстрируется на примере расхождения в ситуации, обозначенной  $F$  (рис. 11, 12), в которой «цель», после начала OS маневра КУ180 уклонения от нее, для расхождения с OS применила маневр КУ90 в сторону OS.

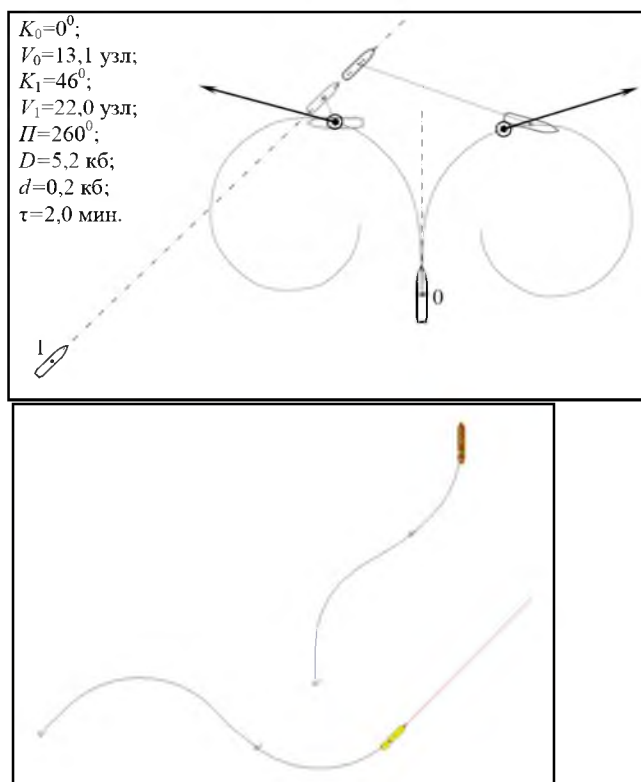


Рис. 11. Основная форма  
отображения ситуации F

Рис. 12. Один из способов  
разрешения ситуации F

### Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению.

В результате проведенной работы предложены рациональные меры по уклонению от опасной «цели» в рассмотренных видах экстремальных ситуаций. Созданная изобразительная модель таких ситуаций облегчает определение начального действия для их разрешения. Разработка моделей отображения для упрощения коррекции выбранного маневра в процессе его осуществления и для выбора мер возвращения к программной траектории перехода в нерассмотренных в этой статье видах экстремальных ситуаций является дальнейшей работой по данному направлению.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бурмака А.И. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / А. И. Бурмака, И. А. Бурмака, Р. Ю. Бужбецкий – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.
2. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами /Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко - Одесса: Фенікс, 2010. – 296 с.
3. Гофман А. Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна / А. Д. Гофман - Л.: Судостроение, 1988. – 360 с.



4. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении /А. С. Мальцев, Е. Е. Тюпиков, И. И. Ворохобин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2013. – 304 с.
5. Таратынов В.П. Расчет момента «критического положения» судов и понятие «района непосредственной близости» //Судовождение. – 1975. – №16. – С. 68-75.