

УДК 656.61.052.484

## PROCEDURE OF DETERMINATION OF PASSING BY MANOEUVRE BY VARIATION OF SHIP'S SPEED

## ПРОЦЕДУРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАНЕВРА РАСХОЖДЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЕМ СКОРОСТЕЙ СУДОВ

**M. A. Kulakov**, *PhD student*

**М. А. Кулаков**, *аспирант*

*National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine*

*Національний університет «Одеська морська академія», Україна*

### ABSTRACT

Procedure of computer graphic determination of optimum passing by maneuver of two dangerously approaching vessels by variation of their speeds by keeping steady courses is considered in the article. The definite variant of dangerous situation of approaching and realization of the offered procedure is given.

**Keywords:** safety of navigator, warning of collisions, optimum passing by maneuver by speed change/variation.

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

Важнейшей проблемой повышения безопасности судовождения является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах. В настоящее время стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением оборудуются станциями управления движением судов, которые предназначены для контроля процесса судовождения и управления движением опасно сближающихся судов. Поэтому разработка способов управления опасно сближающимися судами, в частности изменением их скоростей, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

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

Вариант формализации основных характеристик управляемой динамической системы судов предлагается в статье [1], а в работе [2] рассмотрены принципы управления группой судов при возникновении ситуации опасного сближения.

Вопросам применения опасной области курсов судов для безопасного судовождения посвящены работы [3, 4], причем использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения

рассмотрено в работе [3], а в работе [4] предложен маневр расхождения трех судов изменением их курсов.

### **Формулировка целей статьи**

В данной статье рассмотрена процедура выбора оптимального маневра расхождения пары судов изменением их скоростей.

### **Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов**

Корректное формирование маневра безопасного расхождения с учетом требований системы бинарной координации исследовано в работе [5], а вопросы выбора маневра расхождения судов изменением их скоростей с помощью области опасных скоростей рассмотрены в работах [6, 7].

В реальных ситуациях опасного сближения могут возникать мешающие факторы, которые не позволяют выбирать для расхождения оптимальное значение момента времени начала маневра  $t_n^*$ , например, другие суда или плавательные средства. В таких ситуациях необходимо выбирать  $t_n$  наиболее близкое к оптимальному значению  $t_n^*$ , но обеспечивающее безопасное расхождение судов при заданных режимах торможения.

Поэтому целесообразна разработка компьютерной программы, позволяющей определять значение  $D_{\min}$  при пошаговом изменении величины  $t_n$ .

В данной работе предложен возможный вариант такой компьютерной программы, позволяющий определить значение  $t_n^*$  по изменению дистанции кратчайшего сближения  $D_{\min}$ . Вначале предусмотрен ввод параметров ситуации опасного сближения: пеленга  $\alpha_0$ , дистанции  $D_0$ , скоростей  $V_1$ ,  $V_2$  и курсов  $K_1$ ,  $K_2$  судов, а также предельно-допустимую дистанцию  $D_d$ . Как показано на рис. 1, данные параметры выводятся на экран монитора, причем рассчитывается и также выводится дистанция кратчайшего сближения  $D_{\min}$ . Причем для приведенной ситуации опасного сближения параметры равны следующим значениям:  $D_0 = 4,3$  мили,  $\alpha_0 = 176^\circ$ ,  $K_1 = 138^\circ$ ,  $K_2 = 31^\circ$ ,  $V_1 = 16$  уз.,  $V_2 = 22$  уз.,  $D_d = 1$  миля. В правой части экрана показана начальная ситуация опасного сближения судов.

Для безопасного расхождения судов изменением скорости выбрана точка скоростей расхождения, которая не принадлежит области опасных скоростей и координаты которой  $V_{1y} = 7,0$  уз. и  $V_{2y} = 20,1$  уз., как показано на рис. 2. При данных скоростях относительный курс равен  $194^\circ$ . Из этого же рисунка следует, что для маневра расхождения первым судном выбрано активное торможение, а вторым судном - пассивное торможение.

Длительности переходных процессов каждого из судов составляют  $\tau_{1y} = 71$  с и  $\tau_{2y} = 11$  с, а пройденные за это время расстояния -  $S_1 = 2,08$  кбт. и  $S_2 = 0,63$  кбт. Также выводится сообщение о возможности маневра расхождения, а также оптимальное значение  $t_n^* = 148$  с. На графике приведены кривые активного и пассивного торможения судов.

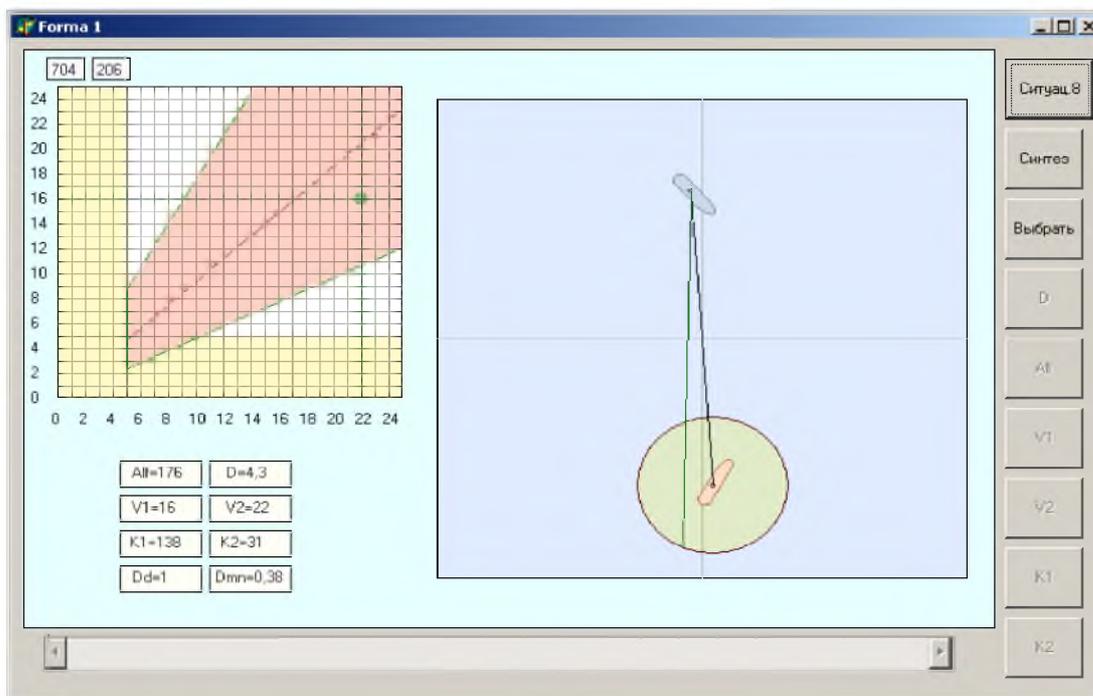


Рис. 1. Отображение третьей ситуации опасного сближения

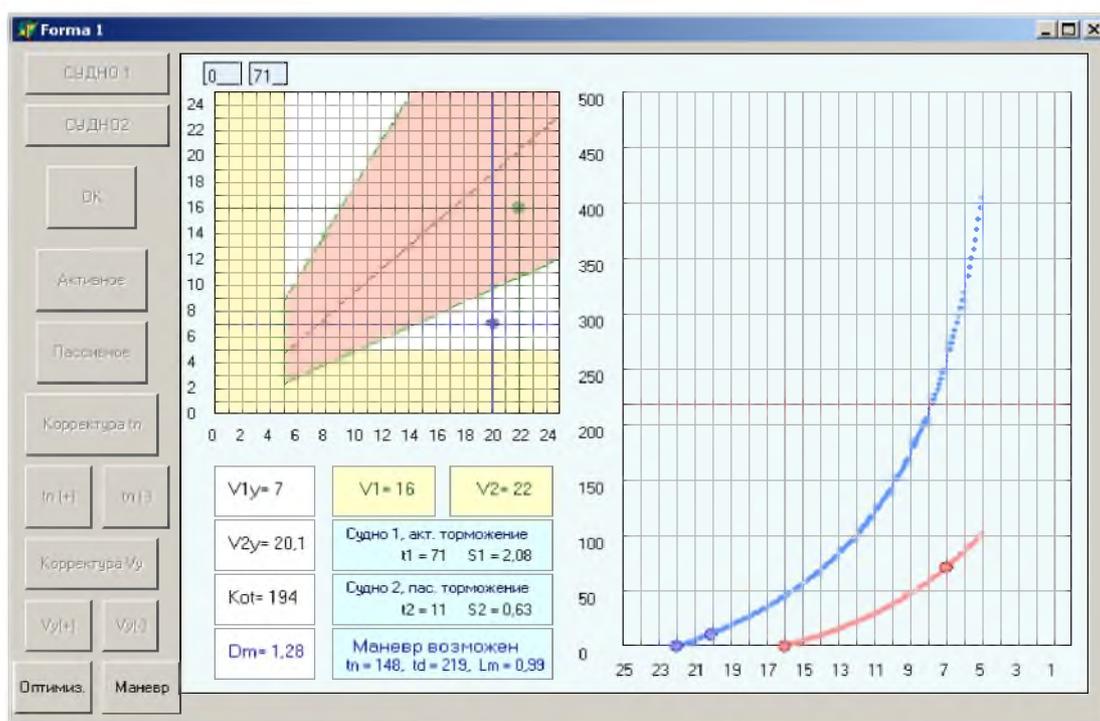


Рис. 2. Кривые активного и пассивного торможения судов

Характеристика маневра расхождения активным и пассивным торможением в случае  $t_n = 0$  с представлена на рис. 3.

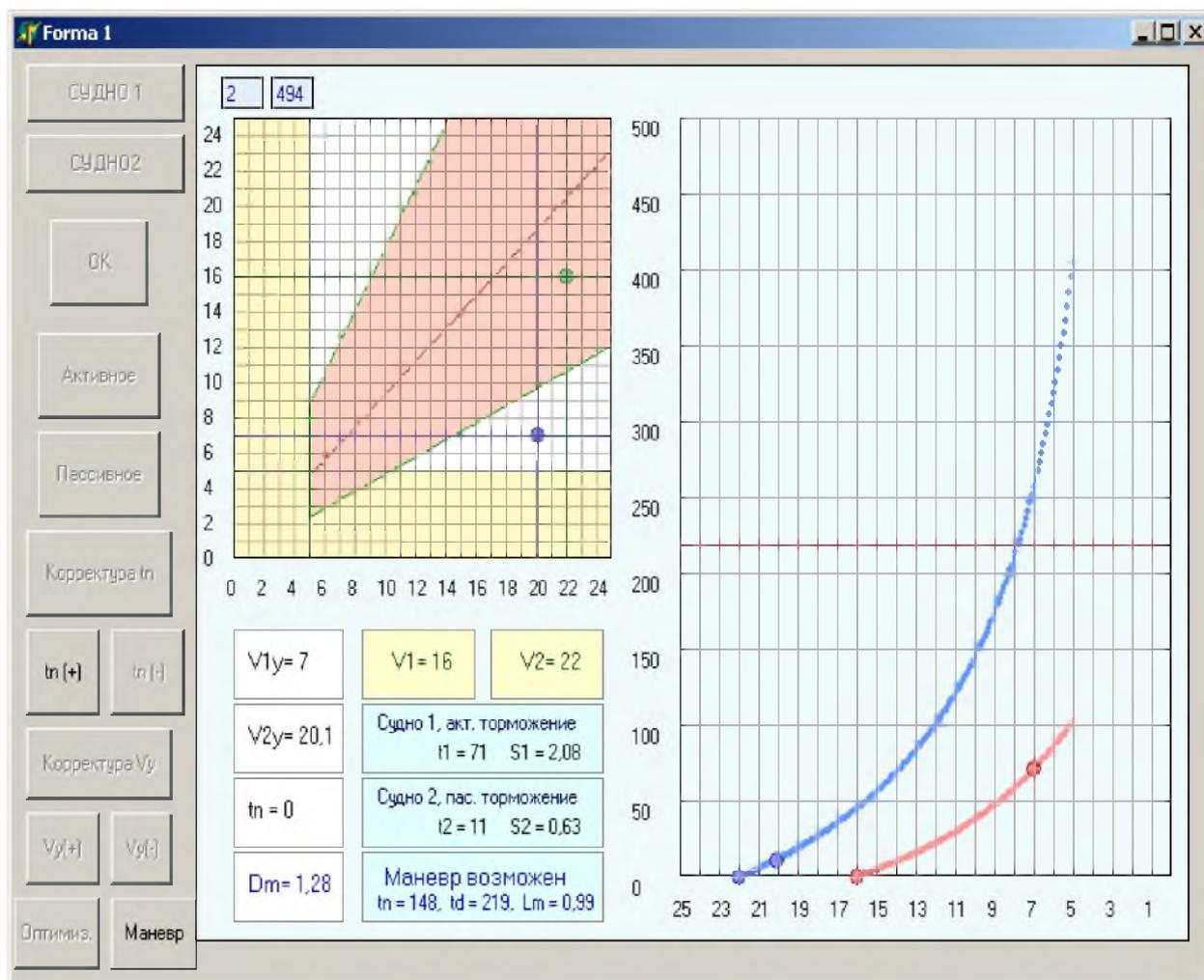


Рис. 3. Состояние процесса расхождения торможением при  $t_n = 0$  с

Из рисунка следует, что в этом случае суда разойдутся на дистанции кратчайшего сближения  $D_{\min} = 1,28$  в момент времени кратчайшего сближения  $t_d = 219$  с. На рис. 4 показано состояние процесса расхождения маневром торможения для  $t_n = 50$  с. Дистанция кратчайшего сближения в этом случае составит  $D_{\min} = 1,18$  мили, а кривые активного и пассивного торможения смещаются вверх по оси времени, а линия завершения переходного процесса приближается к линии времени кратчайшего сближения  $t_d = 219$  с.

На рис. 5 представлены характеристики маневра расхождения при  $t_n = 100$  с. При этом дистанция кратчайшего сближения будет равна  $D_{\min} = 1,09$  мили, а кривые активного и пассивного торможения начинаются с отметки 100 с.

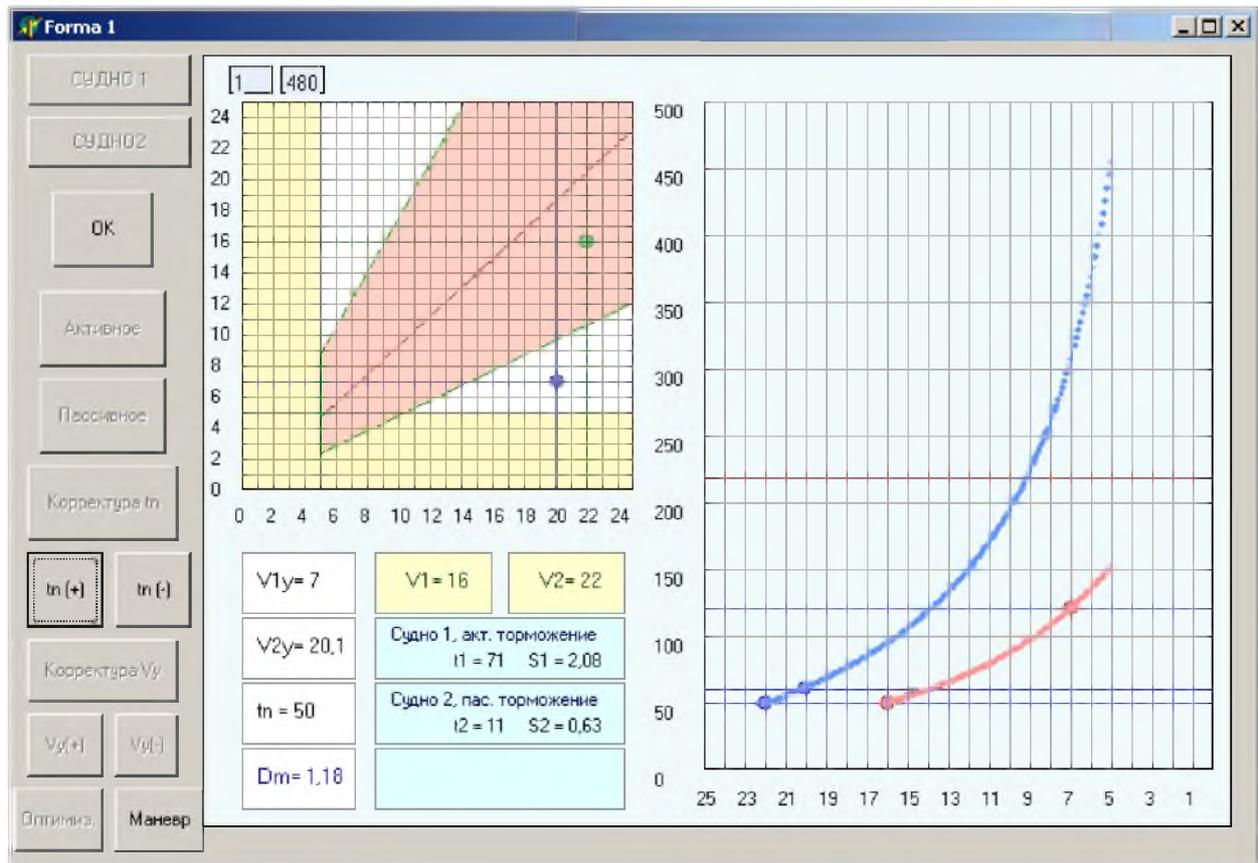


Рис. 4. Состояние процесса расхождения торможением при  $t_n = 50$  с

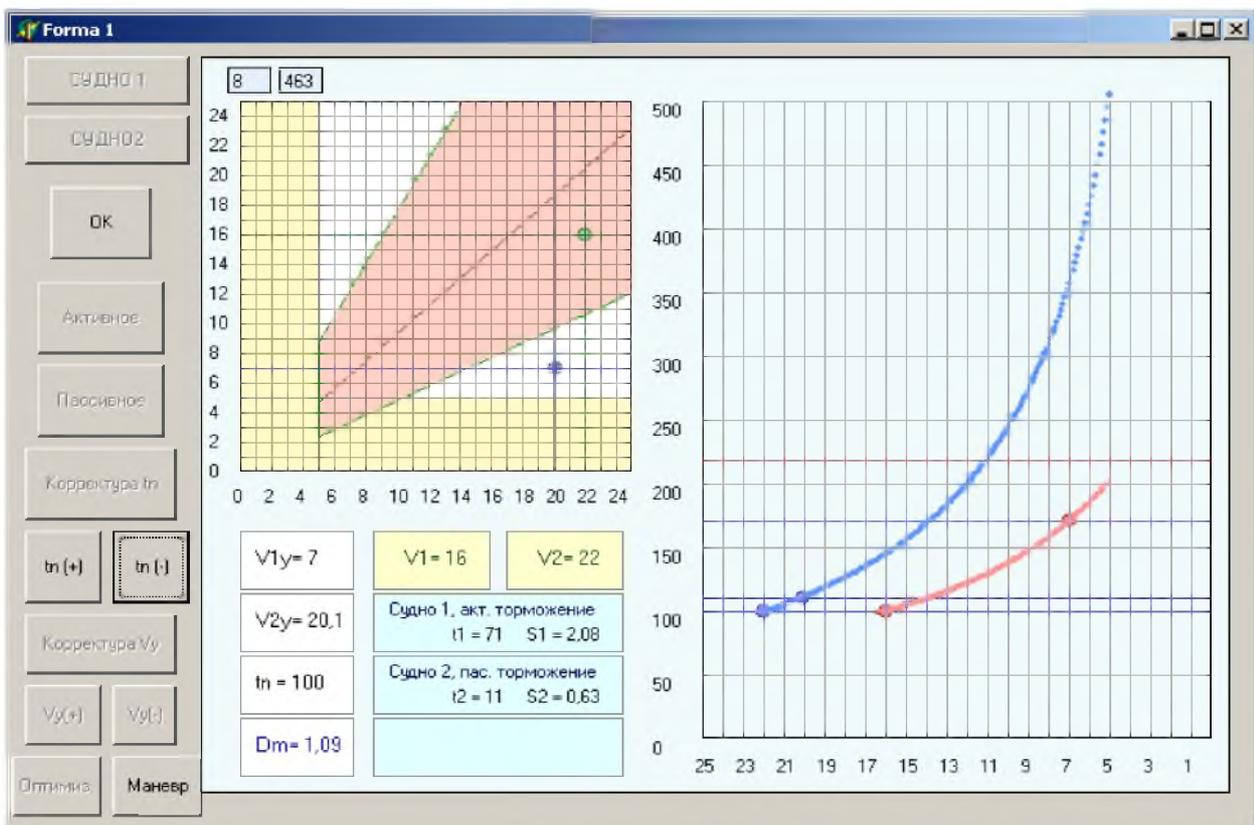


Рис. 5. Состояние процесса расхождения торможением при  $t_n = 100$  с

Состояние маневра расхождения активным и пассивным торможением при  $t_n = 148$ с показано на рис. 6. Этот момент времени начала процесса торможения обоих судов определяет оптимальный маневр расхождения, при котором дистанция кратчайшего сближения равна  $D_{\min} = 0,99$  мили. В данном случае горизонтальные линии окончания переходного процесса и момента времени кратчайшего сближения совпадают.

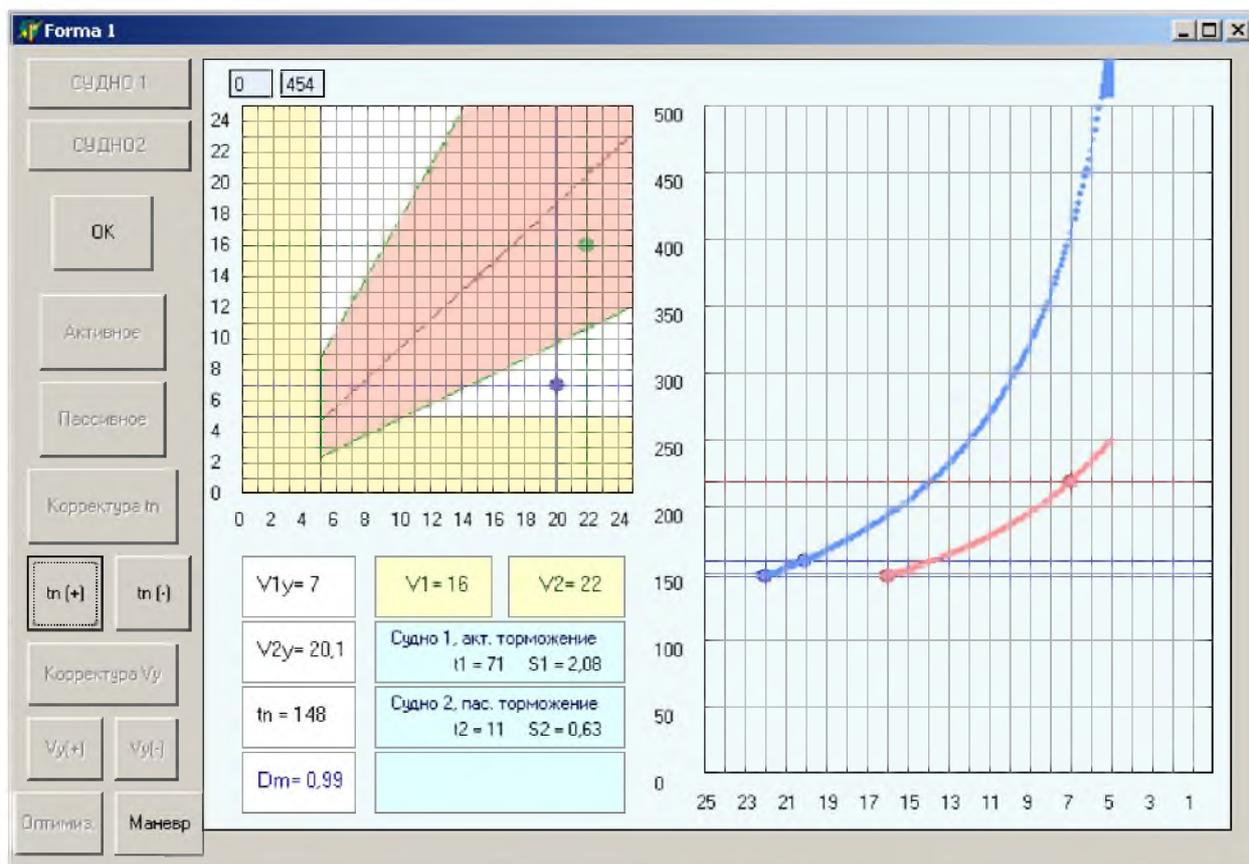


Рис. 6. Состояние процесса расхождения торможением при  $t_n = 148$ с

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

Таким образом, предлагаемая процедура компьютерного графического пошагового выбора маневра расхождения изменением скорости позволяет найти оптимальное значение момента времени начала маневра изменения скоростей обоих судов, при котором минимизируются потери времени расхождения. В дальнейшем целесообразно обобщить процедуру на большее количество опасно сближающихся судов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Булгаков А.Ю. Формализация основных характеристик управляемой динамической системы судов/ Булгаков А.Ю. // Судовождение. – 20013. - № 23. – С. 7-12.
2. Бурмака И.А. Управление группы судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А, Булгаков А.Ю. // Вестник Государственного университета

- морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2014. – выпуск 6 (28). – С. 9 - 13.
3. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения/ Булгаков А.Ю.// Водный транспорт. – 2014. №2 (20).– С. 12 – 17.
  4. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / Булгаков А.Ю., Алексейчук Б.М.// Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. №1 . – С. 75 - 81.
  5. Пятаков Э.Н. Синтез системы бинарной координации при расхождении судов/ Пятаков Э.Н., Копанский С.В., Волков Е.Л. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 4 (38). – С. 23 - 29.
  6. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 70.
  7. Бурмака И.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения/Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016 - С. 35-40.