

УДК 656.61.052

DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.28-36

IMITATION DESIGN OF PROCESS OF DIVERGENCE OF THREE VESSELS

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСХОЖДЕНИЯ ТРЕХ СУДОВ

A. Yu. Bulgakov, *senior lecturer*, **A. V. Aleksishin**, *PhD associate professor*
А. Ю. Булгаков, *старший преподаватель*, **А. В. Алексишин**, *к.т.н., доцент*
National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine
Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

The offered work is devoted to verification of correctness of method of choice of parameters of maneuver of divergence of group of vessels by the change of their courses with the use of procedure of forming of regions of impermissible values of courses of every pair of vessels. The computer program which allows generating the initial situation of dangerous rapprochement of group of vessels was developed for this purpose. Then for the generated dangerous situation the computer program determines the maneuver of divergence of vessels by the change of their courses and his imitation design which produces the animation reflection of process of divergence with the conclusion of current distance between vessels and comparison of her with produced – possible distance of rapprochement.

As an example the situation of dangerous rapprochement of group consisting of three vessels is considered in work, thus for all vessels there is the danger of collision. The indicator of danger applied in the computer program, and which shows that the all ships are dangerously drawn together, testifies to it, for each of which there is situation indignation.

In the program the graphic reflection of regions of dangerous courses of every pair of the drawn together vessels is foreseen and by a scroll bar the input of values of courses of deviation of every pair of vessels is possible.

Because situation indignation exists between all vessels, for his indemnification it is necessary to change courses some ships.

It was set by the preliminary analysis, that more preferable there is the change of course by the second and third ships, because requires less deviation from a programmatic course. If a third ship will deviate to the right, at the conclusion of course from a dangerous region indignation with the first ship appears by a situation, it is therefore necessary to produce the change of course of ship to the left, although it is attended with large deviation from his programmatic value. Does optimum safe divergence of vessels on distance 1,02 miles take place at deviation of the third ship on 62° to the left.

The results of imitation design are represented in work, confirmative correctness of the chosen maneuver of divergence, thus the shortest rapprochement on 1,01 miles of the second and first vessels takes place on 568 s the process of divergence.

Keywords: safety of navigation, process of divergence of vessels, region of impermissible values of courses, imitation design.

РЕФЕРАТ

В роботі розглянуто ситуацію небезпечного зближення трьох суден і приведено аналітичні вирази для визначення безпечних курсів ухилення суден від зіткнення, за допомогою яких розроблено процедуру вибору оптимального маневру розходження.

В запропонованій роботі проведена перевірка коректності методу вибору параметрів маневру розходження групи суден зміною їх курсів з використанням процедури формування областей неприпустимих значень курсів кожної пари суден. Для цього була розроблена комп'ютерна програма, яка дозволяє генерувати початкову ситуацію небезпечного зближення групи суден. Потім для небезпечної ситуації, що генерована, комп'ютерною програмою визначається маневр розходження суден зміною їх курсів і проводиться його імітаційне моделювання, яке здійснює анімаційне відображення процесу розходження з індикацією поточної дистанції між суднами і порівнянням її з гранично – допустимою дистанцією зближення.

Як приклад в роботі розглянута ситуація небезпечного зближення групи, що складається з трьох суден, причому для всіх суден існує небезпека зіткнення. Про це свідчить вживаний в комп'ютерній програмі індикатор безпеки, який показує, що небезпечно зближуються всі судна, для кожного з яких виникає ситуативне збурення.

У програмі передбачено графічне відображення областей небезпечних курсів кожної пари суден, що зближуються, і за допомогою лінійки прокрутки можливе введення значень курсів ухилення кожної пари суден.

Оскільки ситуативне збурення існує між всіма суднами, то для його компенсації слід змінити курси декількох суден.

Попереднім аналізом було встановлено, що найбільш переважним є зміна курсу другим та третім суднами, тому що вимагає меншого відхилення від програмного курсу. Якщо третє судно ухилитиметься управо, то при ухиленні курсу з небезпечної області з'являється ситуативне збурення з першим судном, тому слід проводити зміну курсу судна вліво, хоча це зв'язано з великим відхиленням від його програмного значення. Оптимальне безпечне розходження суден на дистанції 1,02 милі відбувається при ухиленні третього судна на 62° вліво.

У роботі представлені результати імітаційного моделювання, підтверджуючі коректність вибраного маневру розходження, причому найкоротше зближення на 1,01 милі другого і першого суден відбувається на 568 с процесу розходження.

Бібліографія – 11 джерел, ілюстрацій – 5.

Ключові слова: безпека судноводіння, процес розходження суден, область неприпустимих значень курсів, імітаційне моделювання.

Постановка проблеми в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Навигация в стесненных районах характеризуется высокой интенсивностью движения судов и возможны ситуации опасного сближения нескольких судов с угрозой их столкновения. В таких районах управление судов производится системами управления движением судов (СУДС), эффективность работы которых в значительной мере определяется методами управления процесса расхождения группы судов, которые опасно сближаются. Поэтому создание методов безопасного расхождения группы судов является актуальным и своевременным направлением исследований.

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

Работа [1] посвящена исследованию сложной динамической системы взаимодействующих судов и разработке концепции гибких стратегий расхождения для предупреждения их столкновений. В работе [2] предложена процедура определения областей взаимных обязанностей пары судов при опасном сближении в соответствии с требованиями правила 17 МППСС-72. Возможный вариант бинарной координации, которая определяет взаимные обязанности опасно сближающихся судов, предложен в работе [3]. Ограничения МППСС-72, которые необходимо учитывать при выборе стратегии расхождения судов в ситуации опасного сближения, освещены в работе [4].

Работа [5] посвящена исследованию и практическому применению локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения судов, а в работе [6] рассмотрены различные подходы к применению судовых безопасных доменов. Способ выбора стратегии расхождения в зависимости от реализовавшейся начальной ситуации сближения судна с целью, которая принадлежит множеству стандартных ситуаций, рассмотрен в работе [7]. В статье [8] предложена стратегия оперативного расхождения при чрезмерном сближения судов.

Процедура определения курса и момента времени уклонения судна для избежания столкновения с помощью области допустимых значений параметров уклонения предложена в работе [9], а разработка судовой информационной системы предупреждения столкновений рассмотрена в работе [10].

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Цель статьи заключается в проверке корректности способа определения параметров маневра расхождения трех судов имитационным моделированием.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В работах [5, 11] рассмотрен метод выбора безопасного маневра расхождения группы судов внешним управлением процесса их расхождения.

Так для трех судов, которые опасно сближаются, упомянутый метод заключается в следующем.

Если при сближении трех судов дистанции кратчайшего сближения $\min D_{ij}$ каждой пары судов меньше предельно-допустимой дистанции d_d , т.е. $\min D_{ij} < d_d$, то все три судна сближаются опасно. СУДС, управляющей судами, следует определить курсы судов K_i при неизменных скоростях V_i , которые обеспечат превосходство по величине их дистанций кратчайшего сближения над предельно-допустимой дистанцией d_d , что аналитически выражается следующим образом [5]:

$$\begin{cases} \min D_{12} = \Delta_{12} D_{12} \sin(\alpha_{12} - K_{ot12}) \geq d_d; \\ \min D_{13} = \Delta_{13} D_{13} \sin(\alpha_{13} - K_{ot13}) \geq d_d; \\ \min D_{23} = \Delta_{23} D_{23} \sin(\alpha_{23} - K_{ot23}) \geq d_d, \end{cases}$$

где $\Delta_{ij} = -1$, при $\sin(\alpha_{ij} - K_{otij}) < 0$, или в противном случае $\Delta_{ij} = 1$.

Как показано в монографии [5], данная система неравенств в зависимости от параметров движения судов имеет следующий вид:

$$\begin{cases} (\sin K_1 \cos \gamma_{12} - \cos K_1 \sin \gamma_{12}) \leq \rho_{12} (\sin K_2 \cos \gamma_{12} - \cos K_2 \sin \gamma_{12}); \\ (\sin K_1 \cos \gamma_{13} - \cos K_1 \sin \gamma_{13}) \leq \rho_{13} (\sin K_3 \cos \gamma_{13} - \cos K_3 \sin \gamma_{13}); \\ (\sin K_2 \cos \gamma_{23} - \cos K_2 \sin \gamma_{23}) \leq \rho_{23} (\sin K_3 \cos \gamma_{23} - \cos K_3 \sin \gamma_{23}), \end{cases}$$

где $\gamma_{ij} = \alpha_{ij} - \arcsin\left(\frac{d_d}{\Delta_{ij} D_{ij}}\right)$ и $\rho_{ij} = \frac{V_j}{V_i}$.

Соответствующая система равенств:

$$\begin{cases} (\sin K_1 \cos \gamma_{12} - \cos K_1 \sin \gamma_{12}) = \rho_{12} (\sin K_2 \cos \gamma_{12} - \cos K_2 \sin \gamma_{12}); \\ (\sin K_1 \cos \gamma_{13} - \cos K_1 \sin \gamma_{13}) = \rho_{13} (\sin K_3 \cos \gamma_{13} - \cos K_3 \sin \gamma_{13}); \\ (\sin K_2 \cos \gamma_{23} - \cos K_2 \sin \gamma_{23}) = \rho_{23} (\sin K_3 \cos \gamma_{23} - \cos K_3 \sin \gamma_{23}) \end{cases}$$

каждым уравнением представляет аналитическое выражение границы опасной области S_{Dij} , ограждающей недопустимые сочетания значений пар соответствующих курсов K_i и K_j . Получив из данной системы уравнений опасные области S_{D12} , S_{D13} и S_{D23} , следует выбрать такие значения курсов уклонения судов K_{1y} , K_{2y} и K_{3y} , парные сочетания которых не принадлежали бы соответствующим опасным областям, что аналитически выражается следующим образом:

$$(K_{1y}, K_{2y}) \notin S_{D12};$$

$$(K_{1y}, K_{3y}) \notin S_{D13};$$

$$(K_{2y}, K_{3y}) \notin S_{D23}.$$

Оптимальным маневром расхождения является такой, при котором значения курсов уклонения судов K_{1y} , K_{2y} и K_{3y} , измененные на значения ΔK_1 , ΔK_2 и ΔK_3 , минимально отличаются от начальных курсов K_{n1} , K_{n2} и K_{n3} , т. е.:

$$(\Delta K_1^2 + \Delta K_2^2 + \Delta K_3^2) \rightarrow \min,$$

$$(K_{n2} + \Delta K_2, K_{n3} + \Delta K_3) \notin S_{D23},$$

$$(K_{n1} + \Delta K_1, K_{n2} + \Delta K_2) \notin S_{D12},$$

$$(K_{n1} + \Delta K_1, K_{n3} + \Delta K_3) \notin S_{D13}.$$

Для определения параметров маневра расхождения группы судов с помощью упомянутого метода была разработана компьютерная программа с последующим его имитационным моделированием. В качестве примера рассмотрена ситуация сближения трех судов, которая отображается на экране монитора, как показано на рис. 1, из которого следует, что все три судна сближаются опасно, о чем свидетельствуют красный цвет всех секторов индикатора опасности. Другими словами, каждой паре сближающихся судов соответствует ситуационное возмущение. Если ситуационное возмущение будет компенсировано, то соответствующий секторов индикатора опасности приобретает зеленый цвет. Параметры ситуации опасного сближения трех судов приведены на том же рис. 1.

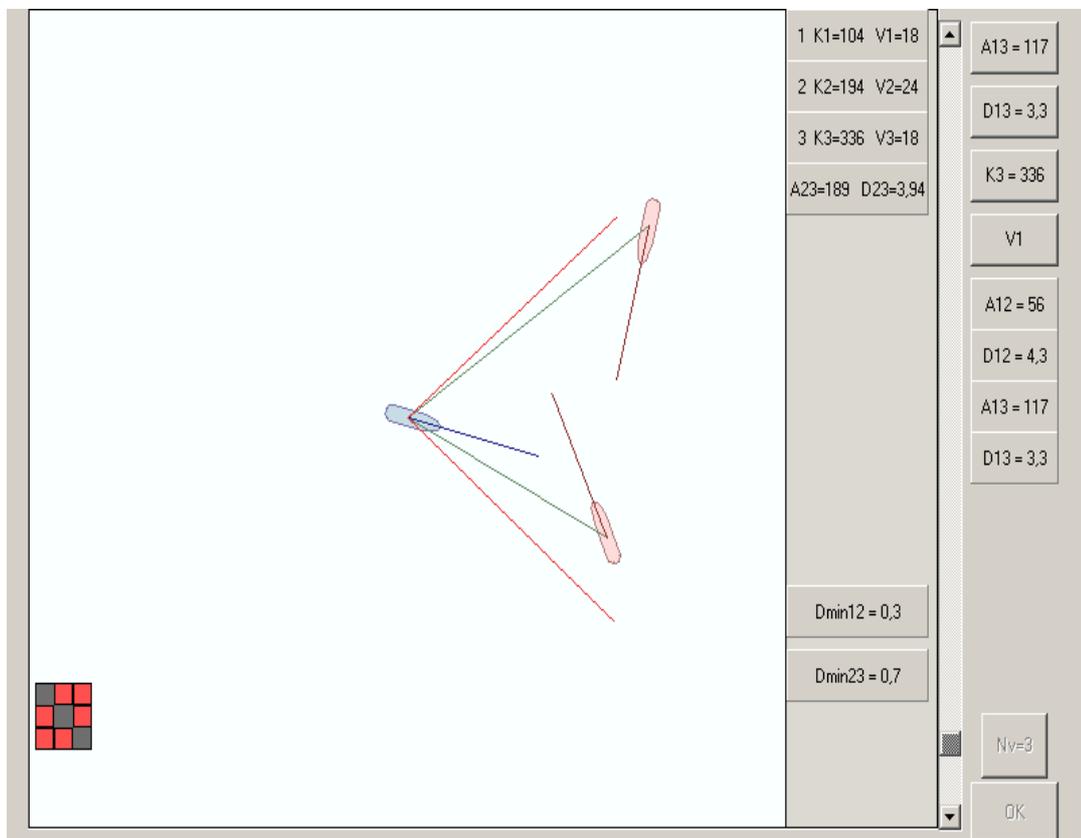


Рис. 1. Начальная ситуация сближения трех судов

С помощью компьютерной программы были определены курсы уклонения оптимального маневра расхождения. При этом оказалось, что для компенсации всех трех ситуационных возмущений достаточно изменений курсов только двух судов: второго и третьего, а первое судно продолжает следовать неизменным курсом 104° . Второму и третьему судам для безопасного расхождения группы следует уклониться влево от начального курса.

На рис. 2 оптимальные курсы уклонения выведены в правом верхнем углу экрана и равны $K_{1y} = 104^\circ$, $K_{2y} = 181^\circ$ и $K_{3y} = 274^\circ$. При таких значениях курсов уклонения ситуационные возмущения отсутствуют, так как все сектора индикатора опасности окрашены в зеленый цвет.

Следовательно, матрица ситуационного возмущения обращается в нулевую при уменьшении курсов второго судна на 13° и третьего судна на 62° при неизменном курсе первого судна.



Рис. 2. Результаты определения оптимальных курсов уклонения

Разработанная компьютерная программа содержит модуль имитационного моделирования заданного маневра расхождения группы судов численностью от двух до пяти судов. При имитационном моделировании непрерывно отображаются движущиеся суда группы с выводом значения текущего времени процесса расхождения и дистанции между судами.

С помощью данного модуля компьютерной программы производилось имитационное моделирование полученного маневра расхождения.

На рис. 3 показан маневр расхождения после поворота судов на курсы уклонения, причем отображена позиция сближения трех судов на 3с времени процесса расхождения.

Ситуация кратчайшего сближения первого и третьего судов отображена на рис. 4. Дистанция кратчайшего сближения составила 1,02 мили, что практически равно заданной предельно-допустимой дистанции, принятой 1 миля. Как следует из рис. 4, кратчайшее сближение первого и третьего судов произошло на 312 с времени проигрывания маневра расхождения.

На рис. 5 приведена ситуация кратчайшего сближения первого и второго судов, которая достигается на 568 с процесса проигрывания маневра расхождения при дистанции между судами, равной 1,01 мили.

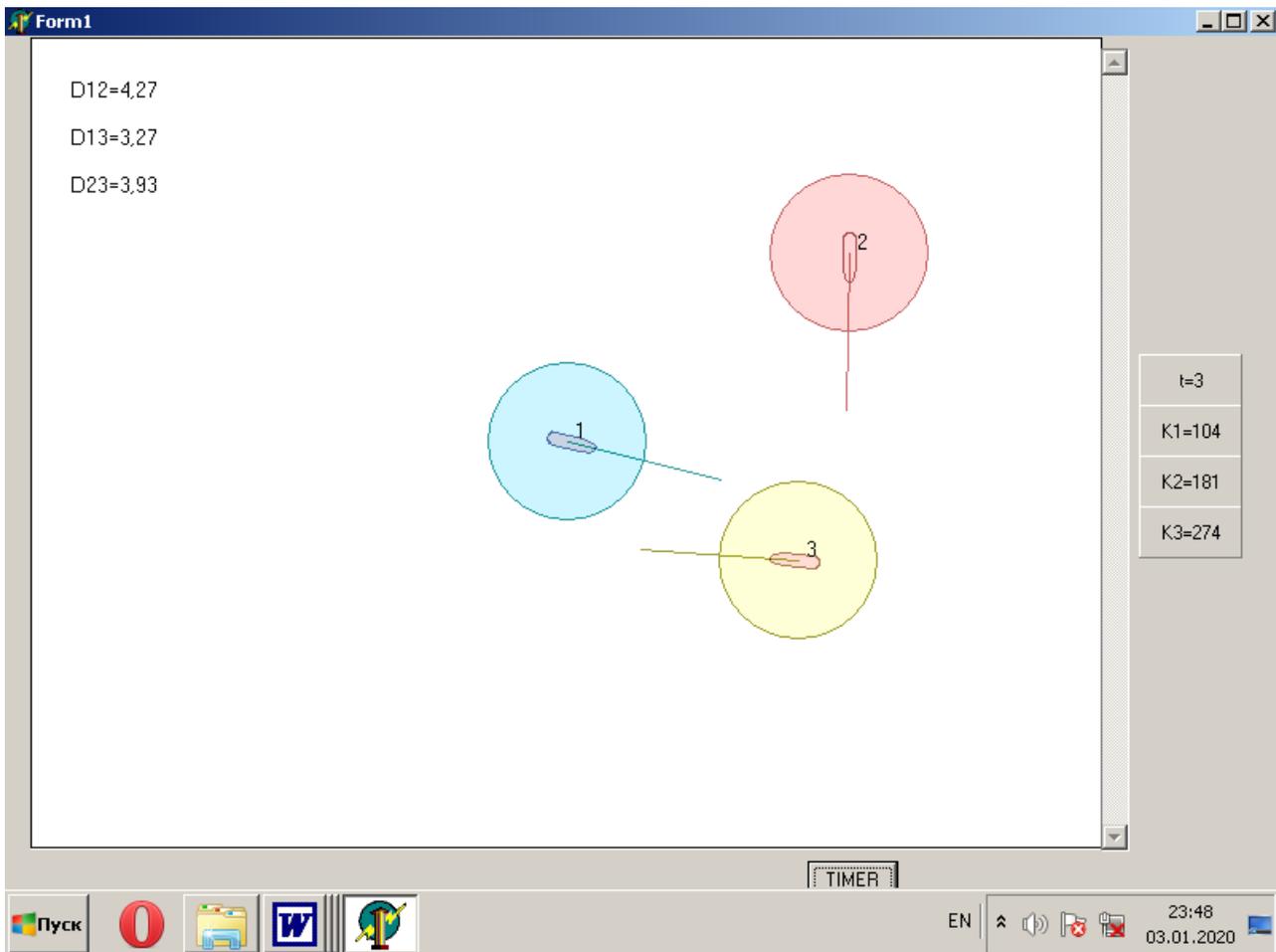


Рис. 3. Начальная ситуация при проигрывании маневра

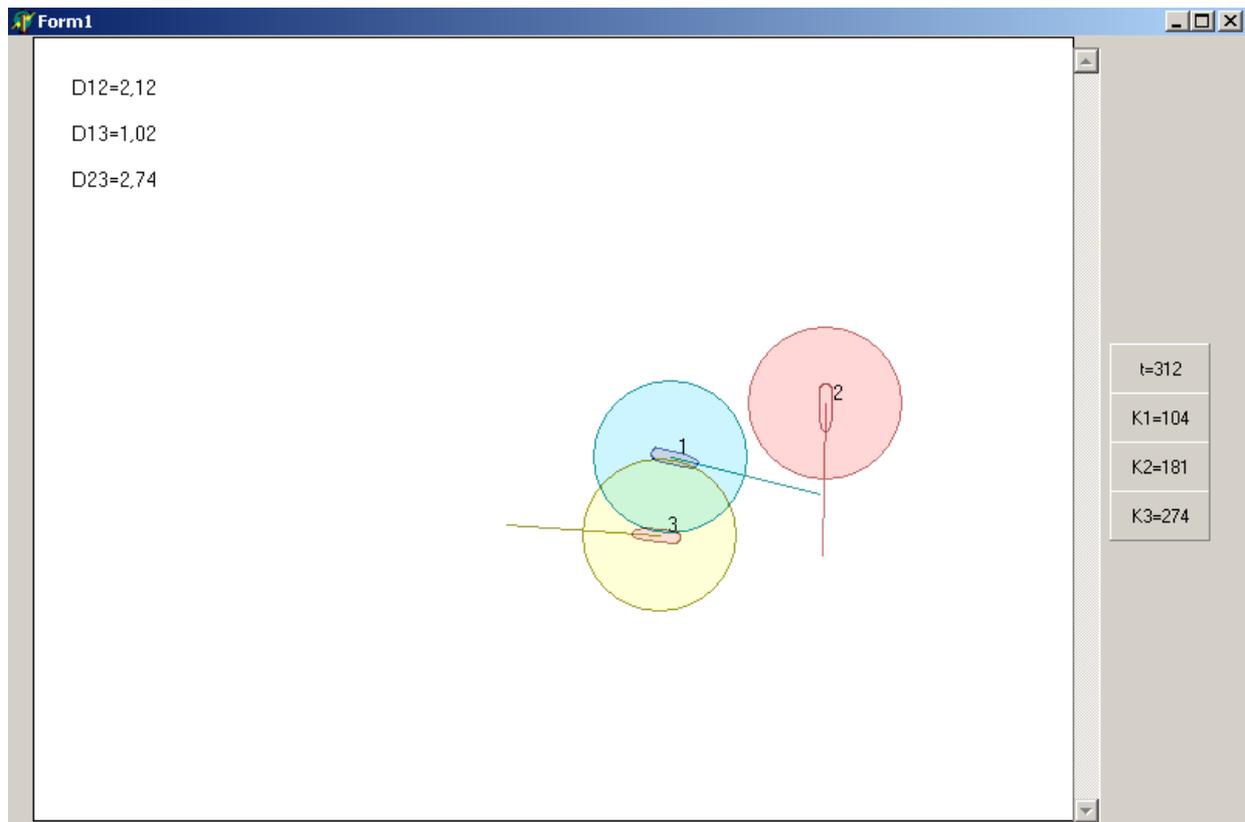


Рис. 4. Ситуація кратчайшого сближения первого и третьего судов

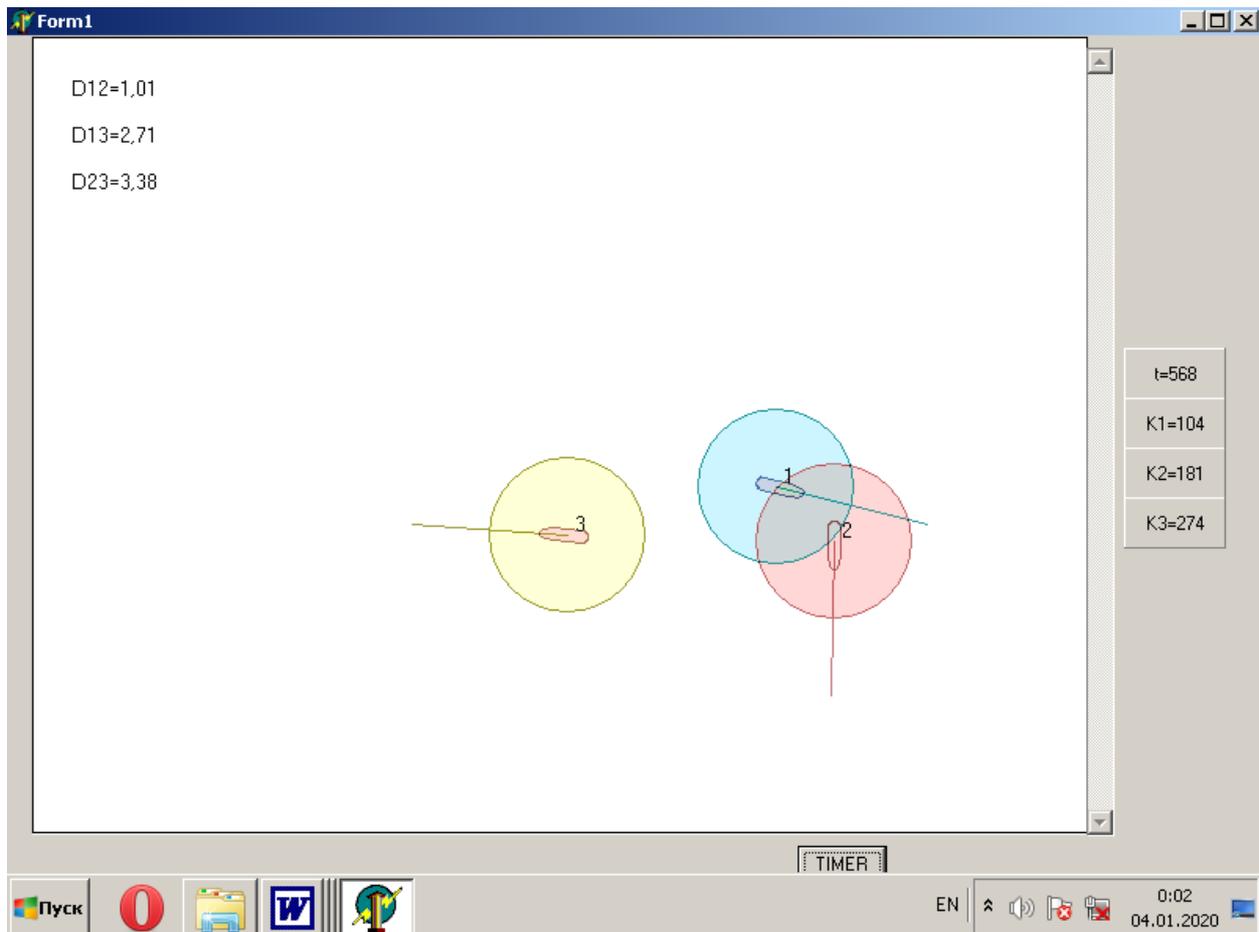


Рис. 5. Ситуація кратчайшого сближения первого и второго судов

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, имитационным моделированием подтверждена корректность способа определения параметров маневра расхождения трех судов.

В дальнейшем следует произвести проверку корректности способа выбора маневра расхождения группы, состоящей из четырех судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
2. Бинай Кумар Синх. Области взаимных обязанностей судов / Бинай Кумар Синх // Судовождение. - 2000. - № 2. - С. 121 – 125.
3. Заичко С.И. Управление взаимодействием судов в ситуации опасного сближения / С.И. Заичко, Э.Н. Пятаков // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.11. - Одесса: „ИздатИнформ”, 2006. – С. 56 – 60.
4. Цымбал Н.Н. Учет ограничений МППСС-72 при выборе маневра расхождения судов/ Цымбал Н.Н., Бужбецкий Р.Ю. // Судовождение. – 2006. - № 11. – С. 134 – 138.
5. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.
6. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / А. С. Мальцев // Судостроение и ремонт. - 1989. - №5. – С. 29-31.
7. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
8. Бурмака, И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / И.А. Бурмака, А.И. Бурмака, Р.Ю. Бужбецкий - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), 2014. - 202 с.
9. Петриченко О.А. Оперативный способ определения параметров маневра расхождения судна. / О.А. Петриченко // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(22), Issue: 186, 2018.- С. 68-71.
10. Петриченко Е.А. Разработка судовой информационной системы предупреждения столкновений. / Е.А. Петриченко, О.А. Петриченко // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, - 2018. - Вып. 28. – С. 120-130.
11. Булгаков А.Ю. Маневр расхождения трех судов с изменением их курсов / А.Ю. Булгаков, Б.М. Алексейчук // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - 2014. №1. – С. 75 - 81.