

УДК 656.61.052

DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.154-163

**DESIGN OF PROCESS OF DIVERGENCE OF VESSELS
TAKING INTO ACCOUNT FORM OF RELATIVE TRAJECTORY****МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ
С УЧЕТОМ ФОРМЫ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ****Т.Ю. Omelchenko**, *senior lecture*,**Т.Ю. Омельченко**, *старший преподаватель**National University «Odessa Maritime Academy», Ukraine**Національний університет «Одеська морська академія», Україна***ABSTRACT**

In work is specified, that the decline of accident rate of vessels is the major problem of providing of safety of navigation, it is thus marked that it is impermissible high level of accident rate by reason of collisions of vessels, that made necessity of development of effective measures on warning of their collisions, special in the straitened districts of sailing.

Attention is accented on that development of methods of perfection of process of divergence of the drawn together vessels taking into account the relative form of trajectory of divergence and navigation dangers is actual and perspective scientific direction. The analysis of the last achievements and publications is produced, in which the decision of the examined problem is begun and produced the selection of parts of general issue unsolved before. At the analysis the basic questions of warning of collision of vessels are lighted up, conception of flexible strategies of divergence is explored, the choice of situation of rapprochement of ship with a target from the great number of standard situations is considered, whereupon determination of strategy of divergence is produced. The questions of forming of safe ship domains are considered, principles of locally-independent and external management by vessels in the situation of dangerous rapprochement, and also operative method of determination of parameters of maneuver of divergence of ship by the change of course.

It is shown that for verification of method of choice of safe maneuver of divergence of operating ship with a target the change of course taking into account the realized form of relative trajectory of divergence and present navigation danger developed the imitation computer program which also contains the module of design of process of divergence of vessels with the expected parameters of maneuver, as a result it is possible to estimate correctness of the offered method of choice of safe maneuver of divergence of vessels.

The results of imitation design of maneuvers of divergence of ship with a target are considered, expected by the imitation computer program for the chosen situation of dangerous rapprochement of ship with a target. A ship will realize the veritable trajectory of divergence by move to the left, thus the relative and veritable trajectories of divergence have identical forms. There is a navigation danger in the district of

rapprochement, therefore a ship chooses the trajectory of divergence by deviation to the left, at which the course of target intersects on a bow. Correctness of method of choice of parameters of maneuver of divergence is confirmed.

Keywords: safety of navigation, warning of collision of vessels, relative trajectory of divergence, imitation design.

РЕФЕРАТ

У роботі вказується, що зниження аварійності суден є найважливішою проблемою забезпечення безпеки судноводіння, причому відмічено, що неприпустимо високий рівень аварійності внаслідок зіткнень суден, що обумовлює потребу розробки ефективних заходів по попередженню їх зіткнень, особливо в стислих районах плавання.

Акцентується увага на тому, що розробка методів вдосконалення процесу розходження суден, що зближуються, з урахуванням відносної форми траєкторії розходження і навігаційних небезпек є актуальним і перспективним науковим напрямом. Проведено аналіз останніх досягнень і публікацій, в яких почато рішення даної проблеми і виділено невирішені раніше частини загальної проблеми. При аналізі освітлено основні питання попередження зіткнення суден, досліджена концепція гнучких стратегій розходження, розглянуто вибір ситуації зближення судна з цілю з множини стандартних ситуацій, після чого проводиться визначення стратегії розходження. Розглянуто питання формування безпечних суднових доменів, принципи локально-незалежного і зовнішнього управління суднами в ситуації небезпечного зближення, а також оперативний спосіб визначення параметрів маневру розходження судна зміною курсу.

Показано, що для перевірки методу вибору безпечного маневру розходження базового судна з цілю зміною курсу з урахуванням форми відносної траєкторії розходження і наявної навігаційної перешкоди, що реалізувалася, була розроблена імітаційна комп'ютерна програма, яка також містить модуль моделювання процесу розходження суден з розрахованими параметрами маневру, внаслідок чого можна оцінити коректність запропонованого способу вибору безпечного маневру розходження суден.

Розглянуто результати імітаційного моделювання маневрів розходження судна з цілю, розрахованих імітаційною комп'ютерною програмою для вибраної ситуації небезпечного зближення судна з цілю. Судно реалізує істинну траєкторію розходження ухиленням вліво, причому відносна і істинна траєкторії розходження мають однакові форми. У районі зближення знаходиться навігаційна перешкода, тому судном вибрана траєкторія розходження ухиленням вліво, при якій курс цілі перетинається по носу. Підтверджена коректність методу вибору параметрів маневру розходження.

Ключові слова: безпека судноводіння, попередження зіткнення суден, відносна траєкторія розходження, імітаційне моделювання.

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

Снижение аварийности судов является важнейшей проблемой обеспечения безопасности судоходства. Особенно высокий уровень аварийности по причине столкновений судов, чем обуславливается необходимость разработки эффективных мер по предупреждению их столкновений.

Поэтому разработка методов совершенствования процесса расхождения сближающихся судов с учетом относительной формы траектории расхождения и навигационных опасностей, 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

В работах [1] и [2] освещены основные вопросы предупреждения столкновения судов, причем в работе [1] исследована концепция гибких стратегий расхождения, а в работе [2] рассматривается выбор ситуации сближения судна с целью из множества стандартных ситуаций, после чего производится определение стратегии расхождения.

Формированию безопасных судовых доменов посвящена работа [3]. В работе [4] рассмотрены локально-независимое и внешнее управление судами в ситуации опасного сближения. При возникновении ситуации чрезмерного сближения судов в работе [5] предлагается способ формирования стратегии экстренного расхождения. В работе [6] предложен оперативный способ определения параметров маневра расхождения судна изменением курса.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является анализ имитационного моделирования процесса расхождения судна с опасной целью, который учитывает форму относительной траектории расхождения и навигационные опасности.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В работе [7] предложен метод выбора безопасного маневра расхождения оперирующего судна с целью изменением курса с учетом реализовавшейся формы относительной траектории расхождения. Параметры маневра расхождения рассчитываются следующим образом [8].

Минимальный курс уклонения определяется требованием заметности маневра расхождения. В случае превосходства скорости судна V_o над скоростью цели V_c , т. е. $V_o > V_c$, формы истинной и относительной траекторий совпадают и минимальный курс уклонения K_y определяется изменением начального курса на 30° , поэтому:

$$K_y = K_o + 30\delta_y,$$

где $\delta_y = 1$, при повороте судна вправо и $\delta_y = -1$, при повороте судна влево.

В общем случае относительная траектория расхождения может принимать четыре формы Δ_{tst} , Δ_{tpr} , Δ_{tst1} и Δ_{tpr1} , которые характеризуются двумя параметрами Δ_y и Δ_b , первый из которых указывает на сторону изменения относительного курса на участке уклонения в момент времени t_y , а второй - на участке поворота к программной траектории в момент времени t_b . Каждый из параметров может принимать значения 1 или -1, причем соответствия значений Δ_y и Δ_b формам Δ_{tst} , Δ_{tpr} , Δ_{tst1} и Δ_{tpr1} приведены в табл.1.

Таблица 1. Значения параметров σ_y и σ_b

Формы	Δ_{tst}	Δ_{tpr}	Δ_{tst1}	Δ_{tpr1}
Δ_y	1	-1	1	-1
Δ_b	-1	1	1	-1

Для всех четырех форм относительной траектории расхождения время начала поворота уклонения рассчитывается с помощью выражения:

$$t_y = \tilde{t}_y - \frac{\Delta_y (\Delta \xi_0 \cos \tilde{K}_{oty} - \Delta \eta_0 \sin \tilde{K}_{oty}) cm + V_c \tau_y \sin(\tilde{K}_{oty} - K_c)}{V_{otn} \sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})},$$

$$\text{где } \tilde{t}_y = \frac{|D \sin(\tilde{K}_{oty} - \alpha)| - D_d}{V_{otn} |\sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})|};$$

$cm = \pm 1$, а знак определяется соотношением знаков δ_y , Δ_y и Δ_b ;

K_{otn} и V_{otn} - начальные относительные курс и скорость;

K_c и V_c - курс и скорость цели;

\tilde{K}_{oty} - относительный курс уклонения;

τ_y и $\Delta \xi_0$, $\Delta \eta_0$ - длительность поворота судна и приращения его координат

за это время;

α и D - начальные пеленг и дистанция;

D_d - предельно-допустимая дистанция сближения.

Для форм Δ_{tst} и Δ_{tpr} относительной траектории расхождения момент времени начала поворота t_b для выхода на заданную траекторию рассчитывается с помощью формулы:

$$t_b = t_y + \frac{cmvD_d + D_n \sin(\alpha_n - K_{otb}) + V_{otn} t_y \sin(K_{otb} - K_{otn})}{V_{oty} \sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otb})} - \Delta t_b,$$

$$\text{где } \Delta t_b = \frac{\delta_y \Delta_b (\Delta \eta_0 \sin K_{otb} - \Delta \xi_0 \cos K_{otb}) + V_c \tau_b \sin(\tilde{K}_{otb} - K_c)}{V_{oty} \sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otb})};$$

$cmv = \pm 1$, причем знак определяется соотношением знаков δ_y , Δ_y и Δ_b .

Если реализуются формы Δ_{tstl} или Δ_{tpr1} , то момент времени t_{b*} поворота судна в сторону его программной траектории движения определяется выражением:

$$t_{b*} = t_y + \frac{D_y \cos(K_{oty} - \alpha_y)}{V_{oty}},$$

где α_y и D_y - соответственно пеленг и дистанция до цели в момент времени t_y .

Момент времени поворота t_b к программной траектории с учетом инерционности судна:

$$t_b = t_{b*} - \Delta t_b,$$

$$\text{причем } \Delta t_b = \frac{-\delta_y \Delta_b (\Delta \eta_0 \sin K_{otb} - \Delta \xi_0 \cos K_{otb}) cm + V_c \tau_b \sin(K_{otb} - K_c)}{V_{oty} \sin(K_{oty} - K_{otb})}.$$

Независимо от формы относительной траектории расхождения время начала поворота на программную траекторию рассчитывается следующим образом:

$$t_{kn} = t_b + \frac{L_p}{V_o |\sin(K_b - K_k)|} - \Delta t_k,$$

$$\text{где } L_p = |V_o (t_b - t_y) \sin(K_y - K_o)|;$$

$$\Delta t_k = cmk \frac{l_2}{V_o |\sin(K_b - K_k)|},$$

$cmk = \pm 1$ и знак определяется соотношением знаков δ_y , Δ_y и Δ_b ,

$$l_2 = \Delta_b [\Delta \xi_0^2(\tau_k) + \Delta \eta_0^2(\tau_k)]^{1/2} \sin \varepsilon,$$

$$\varepsilon = \arctg [\Delta \eta_0(\tau_k) / \Delta \xi_0(\tau_k)] - K_k,$$

τ_k - длительность поворота судна.

Для проверки корректности метода определения параметров маневра расхождения с учетом имеющейся навигационной опасности была разработана имитационная компьютерная программа, которая также содержит модуль моделирования процесса расхождения судов с рассчитанными параметрами маневра, в результате чего можно оценить корректность предложенного способа выбора безопасного маневра расхождения судов. Рассмотрим результаты имитационного моделирования маневров расхождения судна с целью, рассчитанных имитационной компьютерной программой для ситуации опасного сближения судна с целью, которая характеризуется следующими параметрами: пеленг $\alpha = 200^\circ$, дистанция $D = 5$ миль, $K_o = 160^\circ$, $V_o = 20$ узлов, $K_c = 65^\circ$, $V_c = 15$ узлов и показана на рис. 1. Судно реализует истинную траекторию расхождения отворотом влево. Относительная и истинная траектории расхождения показаны на рис. 2 и имеют одинаковые формы. Программой были рассчитаны параметры маневра расхождения, которые также приведены на рис. 3. В районе сближения находится навигационная опасность, поэтому судном выбрана траектория расхождения уклонением влево, при которой курс цели пересекается по носу. Так как скорость судна больше скорости цели, то формы истинной и относительной траекторий совпадают. На рис. 4 ÷ 7 отображен процесс расхождения и подтверждена корректность метода выбора параметров маневра расхождения.

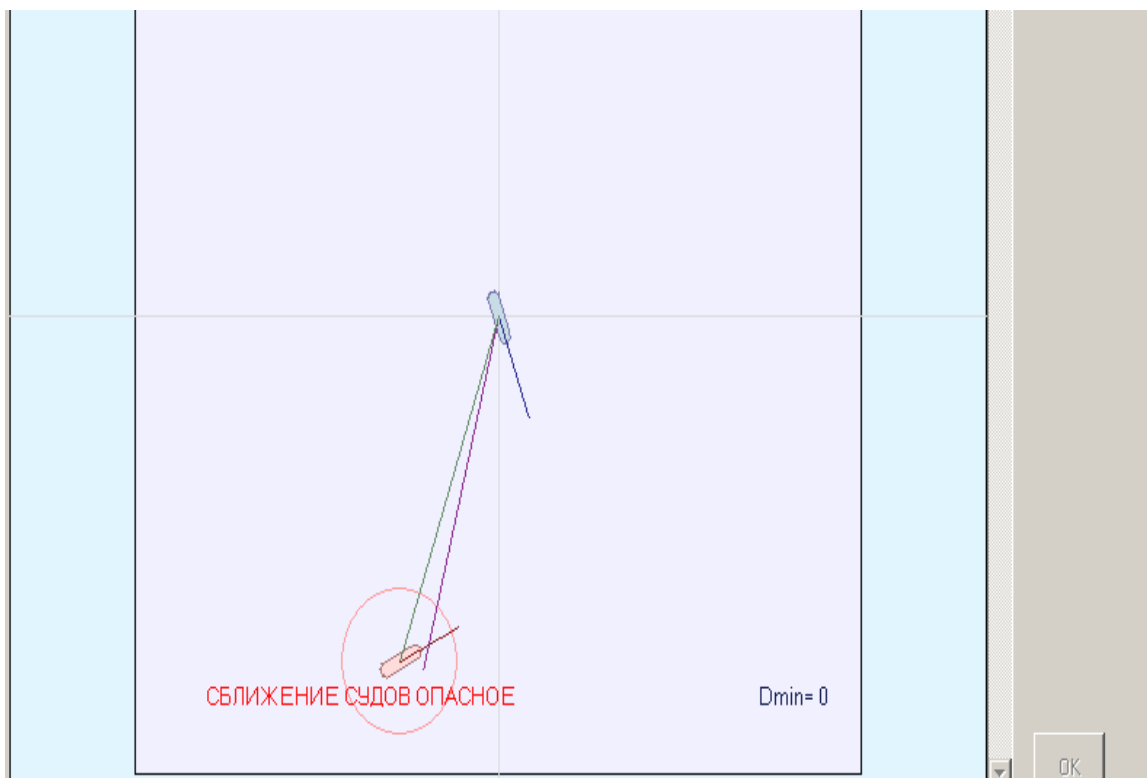


Рис. 1. Ситуация опасного сближения судна с целью

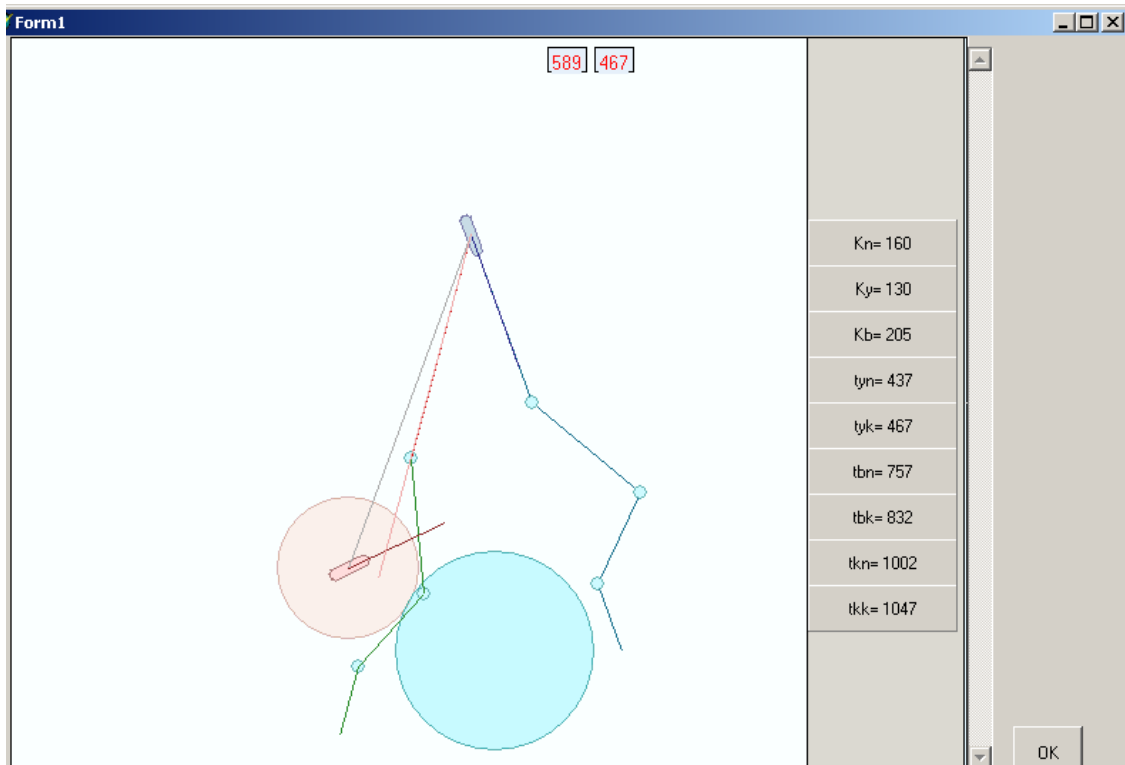


Рис. 2. Траектории истинного и относительного расхождения

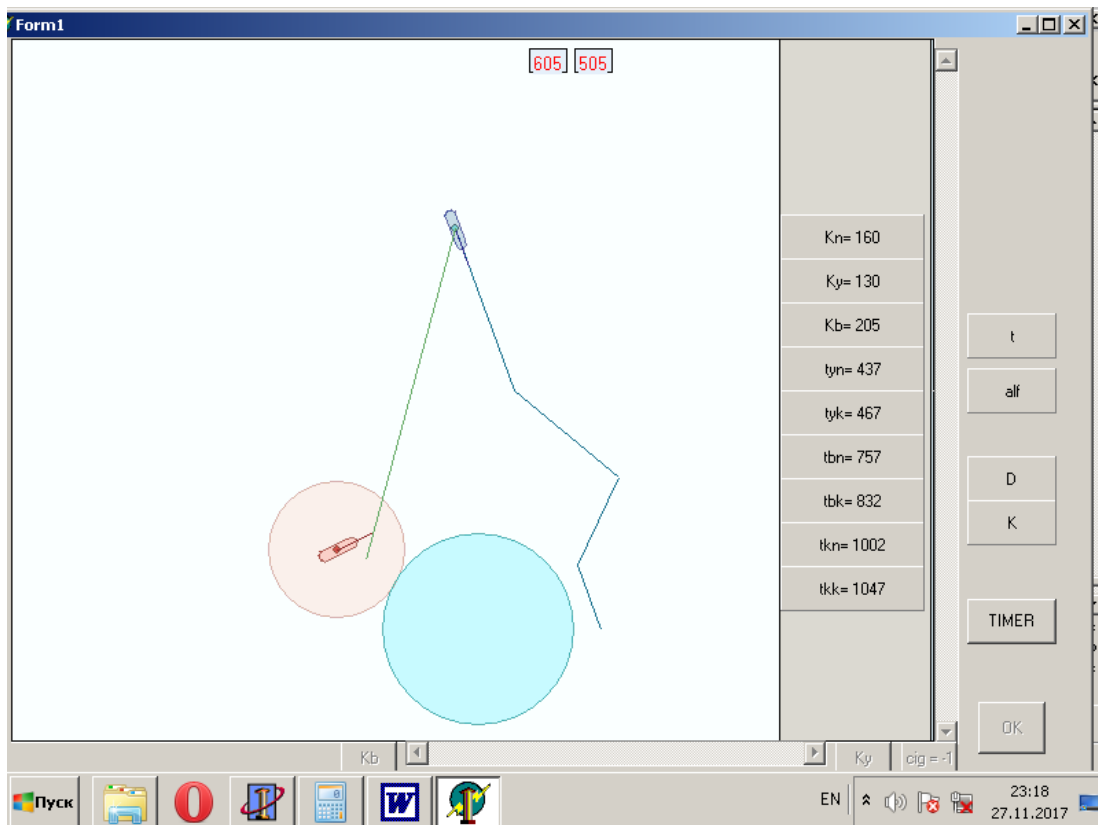


Рис. 3. Начальная позиция процесса расхождения

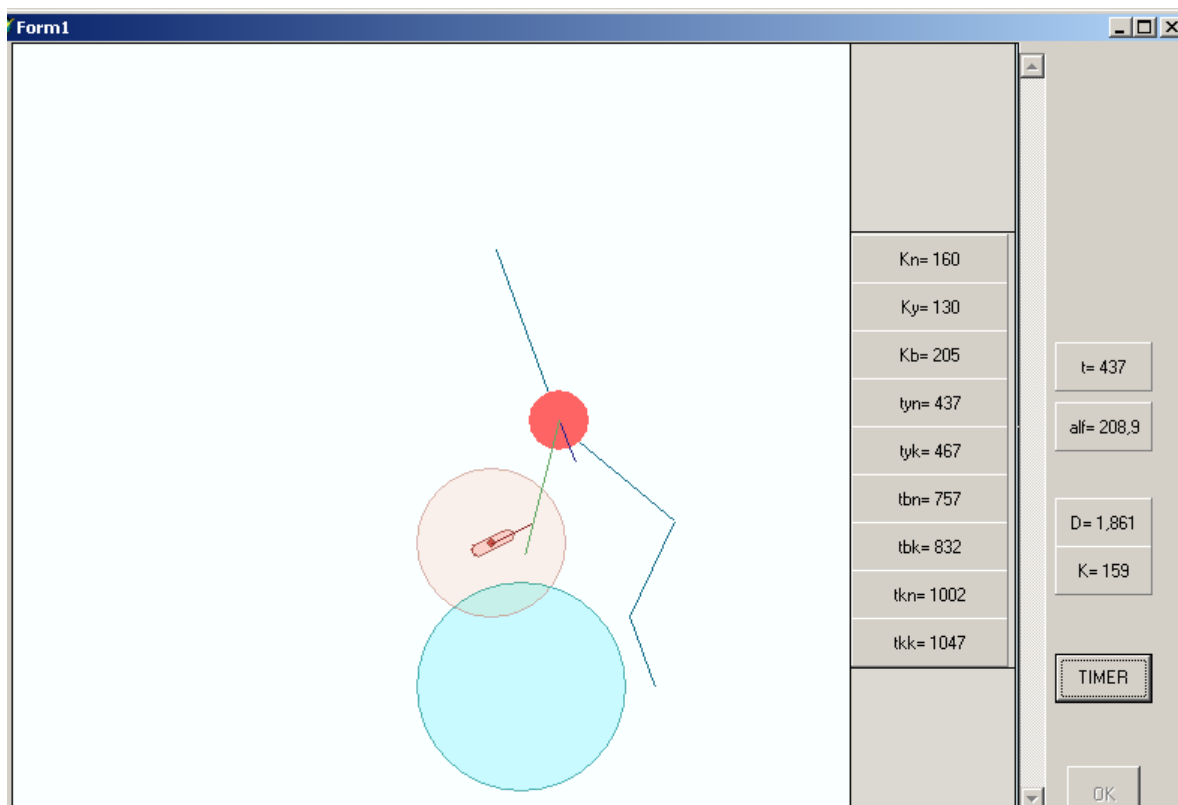


Рис. 4. Начало поворота судна на участок уклонения

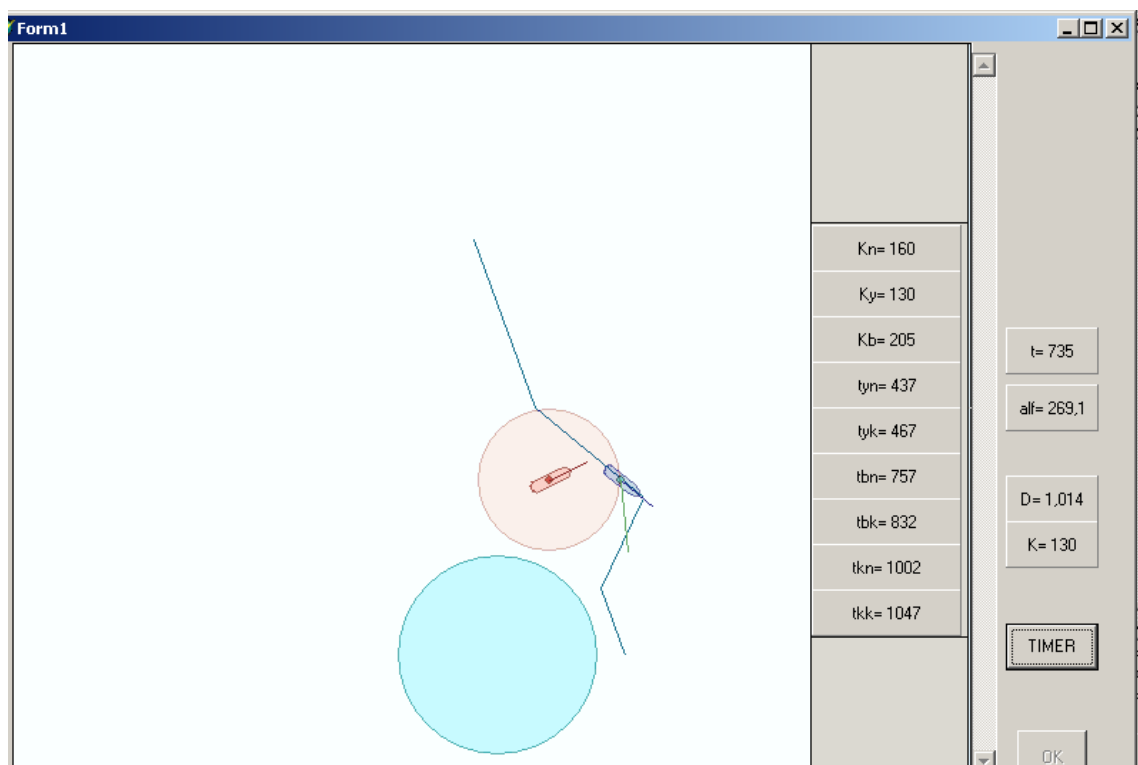


Рис. 5. Момент кратчайшего сближения судна с целью

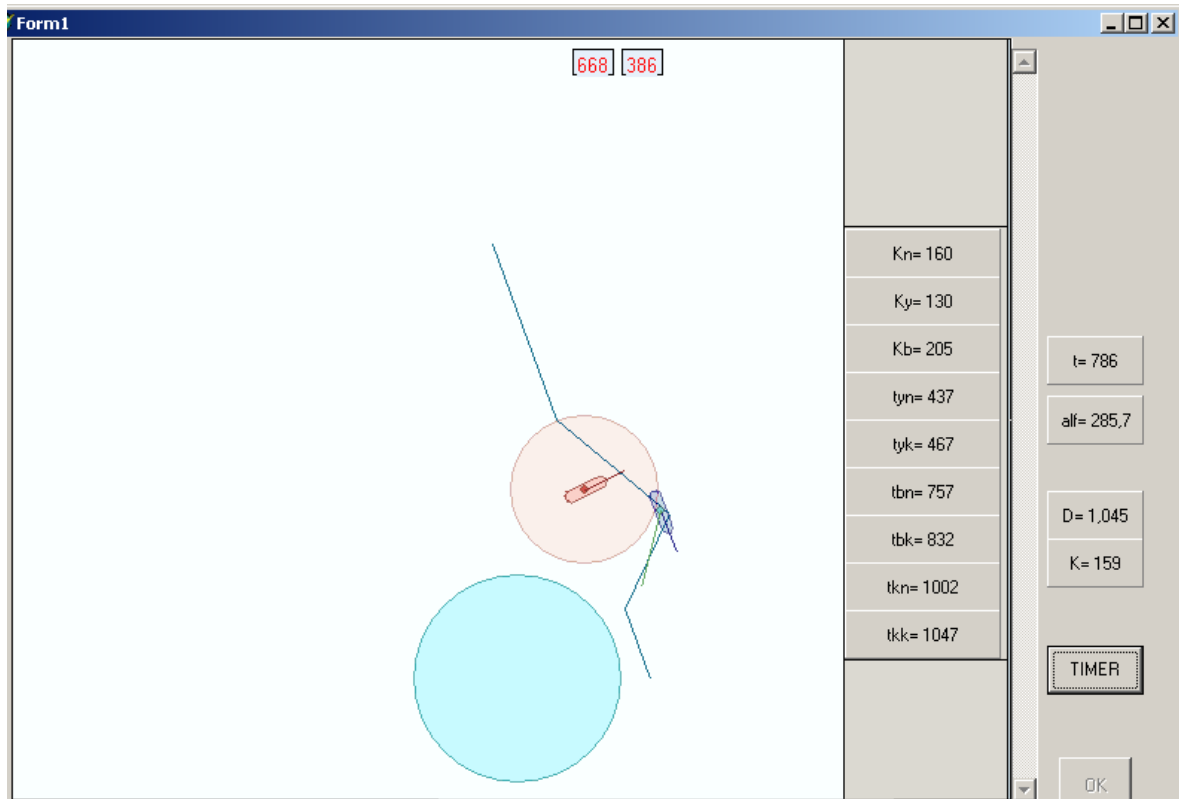


Рис. 6. Начало поворота судна на участок выхода

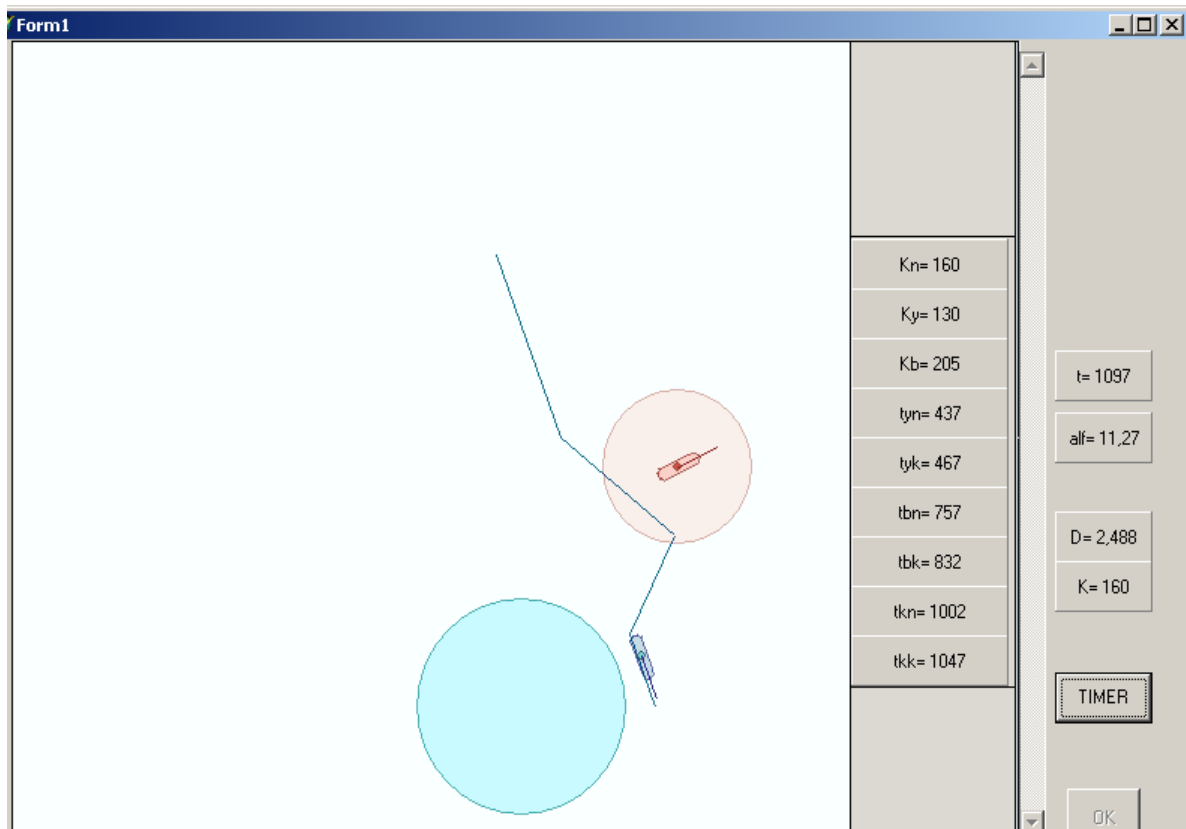


Рис. 7. Окончание маневра расхождения

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, имитационное моделирование процесса расхождения судна с опасной целью, маневр которого учитывает форму относительной траектории расхождения и навигационные опасности, подтверждает корректность метода выбора параметров маневра расхождения.

В дальнейшем представляет интерес рассмотреть ситуации сближения, характеризующиеся другими формами относительной траектории расхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. – Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
2. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / Мальцев А.С. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
3. Мальцев А. С. Учет маневренных характеристик для обеспечения безопасности плавания / Мальцев А. С. // Судостроение и ремонт. - 1989. - №5. – С. 29-31.
4. 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.
5. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А.И., Бужбецкий Р.Ю. - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), 2014. - 202 с.
6. Петриченко О.А. Оперативный способ определения параметров маневра расхождения судна. / Петриченко О.А.// Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI (22), Issue: 186, 2018.- С. 68-71.
7. Омельченко Т.Ю. Отображение траектории расхождения судна уклонением вправо в множество относительных траекторий / Омельченко Т.Ю., Пятаков Э.Н., Тюпиков Е.Е. // East European Science Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 58-69.
8. Пятаков Э.Н. Выбор стратегии расхождения при локально-независимом управлении судов в ситуации опасного сближения / Э.Н. Пятаков, С.С. Пасечнюк, Т.Ю. Омельченко // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 97 - 101.