

11. Петриченко Е.А. Учет линейной навигационной опасности при расхождении судов/

Omelchenko T.Y.

senior lecturer,

National University «Odessa Maritime Academy»

PLAYING OF PROCESS OF DIVERGENCE OF VESSELS WITH DIFFERENT FORMS OF RELATIVE TRAJECTORIES

Омельченко Тарас Юрьевич

старший преподаватель кафедры Морские перевозки,

Национальный университет "Одесская морская академия"

ПРОИГРЫВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ФОРМАМИ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ

Summary. Analytical expressions of calculation of moments of time of change of course of operating ship during realization of maneuver of divergence are resulted. 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 developed the imitation computer program which contains the module of design of process of divergence of vessels with the expected parameters of maneuver.

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 situations of dangerous rapprochement of ship with a target.

Аннотация. Приведены аналитические выражения расчета моментов времени изменения курса оперирующего судна при реализации маневра расхождения. Показано, что для проверки метода выбора безопасного маневра расхождения оперирующего судна с целью изменением курса была разработана имитационная компьютерная программа, которая содержит модуль моделирования процесса расхождения судов с рассчитанными параметрами маневра.

Рассмотрены результаты имитационного моделирования маневров расхождения судна с целью, рассчитанных имитационной компьютерной программой для выбранных ситуаций опасного сближения судна с целью.

Key words: safety of navigator, warning of collision of vessels, maneuver of divergence, imitation design

Ключевые слова: безопасность судоходства, предупреждение столкновения судов, маневр расхождения, имитационное моделирование.

Постановка проблемы.

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

Поэтому разработка методов повышения безопасности процесса расхождения сближающихся судов с учетом относительной формы траектории расхождения и проверка их корректности, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

Анализ последних достижений и публикаций.

Метод нелинейной интегральной инвариантности для формализации процесса расхождения предлагается в работе [1], а в работе [2] предлагаются методы теории оптимальных дискретных процессов для описания процесса расхождения. Экстренная стратегия расхождения в ситуации чрезмерного сближении судов предложена в работе [3].

В работе [4] исследованы методы локально-независимого управления и для предупреждения столкновений судов предложен метод формирования гибких стратегий расхождения, а в работе [5] рассмотрены принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов, а также приведен анализ методов их реализации. Процедура выбора оптимального стандартного маневра расхождения пары судов рассмотрена в работе [6], а взаимодействие судов в ситуации опасного сближения рассмотрены в работе [7] и предложена процедура выбора стратегии расхождения для предупреждения их столкновения. Вопросы учета навигационных опасностей и инерционности судна при выборе стратегии расхождения судна освещены в работах [8, 9].

В работе [10] излагается теоретическое обоснование автономной судовой системы уклонения от столкновения СА. Совместно с алгоритмом по уклонению от столкновения рассмотрены дополнительно Правила уклонения от столкновения COLREG. Также рассматриваются требования к автономной навигации, учитывающие

факторы, которые влияют на процесс уклонения от столкновения. Отмечается, что исследования по автоматизации управления судном могут быть представлены классическим подходом, основанным на математических моделях и алгоритмах, или компьютерной технологией, использующую искусственный интеллект.

В работе [11] предложено описание процесса расхождения судов в терминах дифференциальной антагонистической игры.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

В ситуации опасного сближения для предупреждения столкновения следует своевременно выполнить маневр расхождения, параметры которого рассчитываются с учетом формы относительной траектории расхождения. Для проверки корректности способа расчета параметров стратегии расхождения с учетом формы относительной траектории следует произвести имитационное моделирование процесса расхождения с ее разными формами, чему посвящена данная статья.

Цель статьи.

Целью статьи является проверка имитационным моделированием корректности метода расчета параметров маневра расхождения с учетом формы относительной траектории.

Изложение основного материала.

Как указывается в статье [12], в случае скорости судна меньше скорости цели, т. е.

$V_o < V_c$, 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 Δ_y и Δ_b

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

Как указывается В работе [5] в первом приближении (без учета инерционности судна) получены выражения, позволяющие рассчитать время начала поворота уклонения t_y , момент времени начала выхода на программную траекторию t_b и момент времени начала поворота на программную траекторию t_{kn} , которые приведены ниже.

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

$$t_y = \frac{|D \sin(\tilde{K}_{oty} - \alpha) - D_d|}{V_{otn} |\sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})|}$$

где D и α - начальные значения дистанции и пеленга;

D_d - предельно-допустимая дистанция сближения;

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

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

Для форм Δ_{tst} и Δ_{tpr} момент времени начала выхода на программную траекторию t_b :

$$t_b = t_y + \frac{D_d + D \sin(\alpha - K_{otb}) + V_{otn} t_y \sin(K_{otb} - K_{otn})}{V_{oty} \sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otb})}$$

где V_{oty} - относительная скорость уклонения;

K_{otb} - относительный курс выхода.

Если реализуются формы Δ_{tst1} или Δ_{tpr1} , то расчет величины t_b производится другим способом, а именно:

$$t_b = t_y + \frac{D_y \cos(K_{oty} - \alpha_y)}{V_{oty}}$$

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

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

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

где $L_p = |V_o(t_b - t_y) \sin(K_y - K_o)|$.

Для проверки корректности полученных теоретических результатов, позволяющих произвести выбор безопасного маневра расхождения оперирующего судна с целью изменением курса с учетом реализовавшейся формы относительной траектории расхождения, была разработана имитационная компьютерная программа, которая может быть использована в виде отдельного модуля при разработке судовой информационной системы поддержки принятия решения судоводителя в ситуациях опасного сближения с целью при локально-независимом управлении процессом расхождения судов.

Разработанная компьютерная имитационная программа 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 информационной системой для двух ситуаций опасного сближения с учетом формы относительной траектории расхождения.

Первая ситуация опасного сближения судна с целью характеризуется пеленгом $\alpha = 200^\circ$, дистанцией $D = 5$ миль, $K_o = 150^\circ$, $V_o = 20$ узлов, $K_c = 70^\circ$, $V_c = 15$ узлов. Истинная траектория расхождения судном выбрана отворотом вправо. Формы относительной и истинной траекторий

показаны на рис. 1, и они совпадают, т. е. являются одинаковыми. Параметры маневра расхождения, рассчитанные программой, приведены на рис. 1. Относительная траектория расхождения имеет форму Δ_{tst} . Процесс расхождения судов отображен на рис. 2 ÷ 7. На рис. 2 и 3 показан поворот судна на участок уклонения. Кратчайшее сближение на участке уклонения показано на рис. 4, а на рис. 6 отображен процесс расхождения в момент кратчайшего сближения на участке выхода. На рис. 5 представлен поворот судна на участок выхода, а возвращение судна на программную траекторию показано на рис. 7.

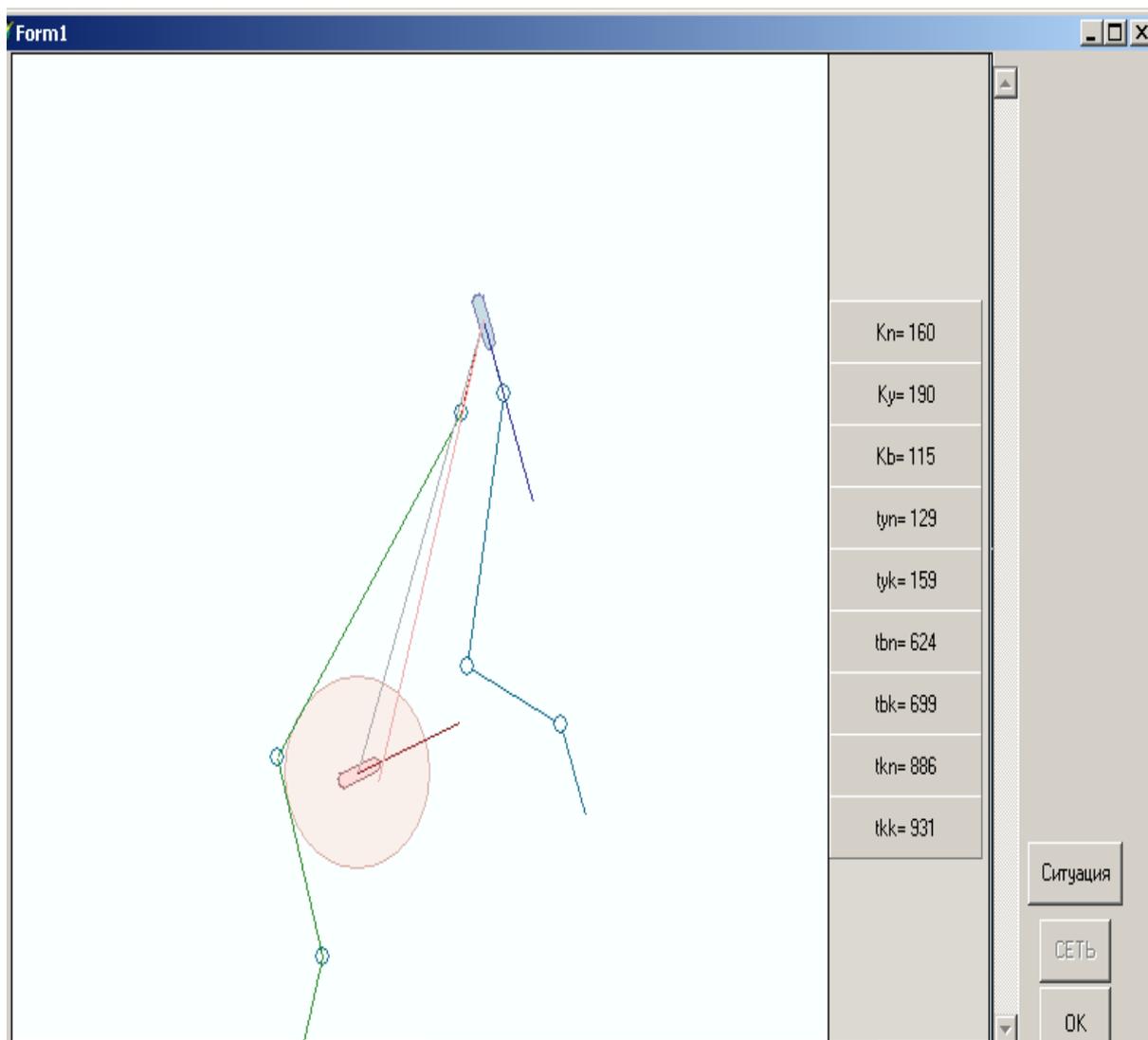


Рис. 1. Траектории истинного и относительного расхождения (ситуация 1)

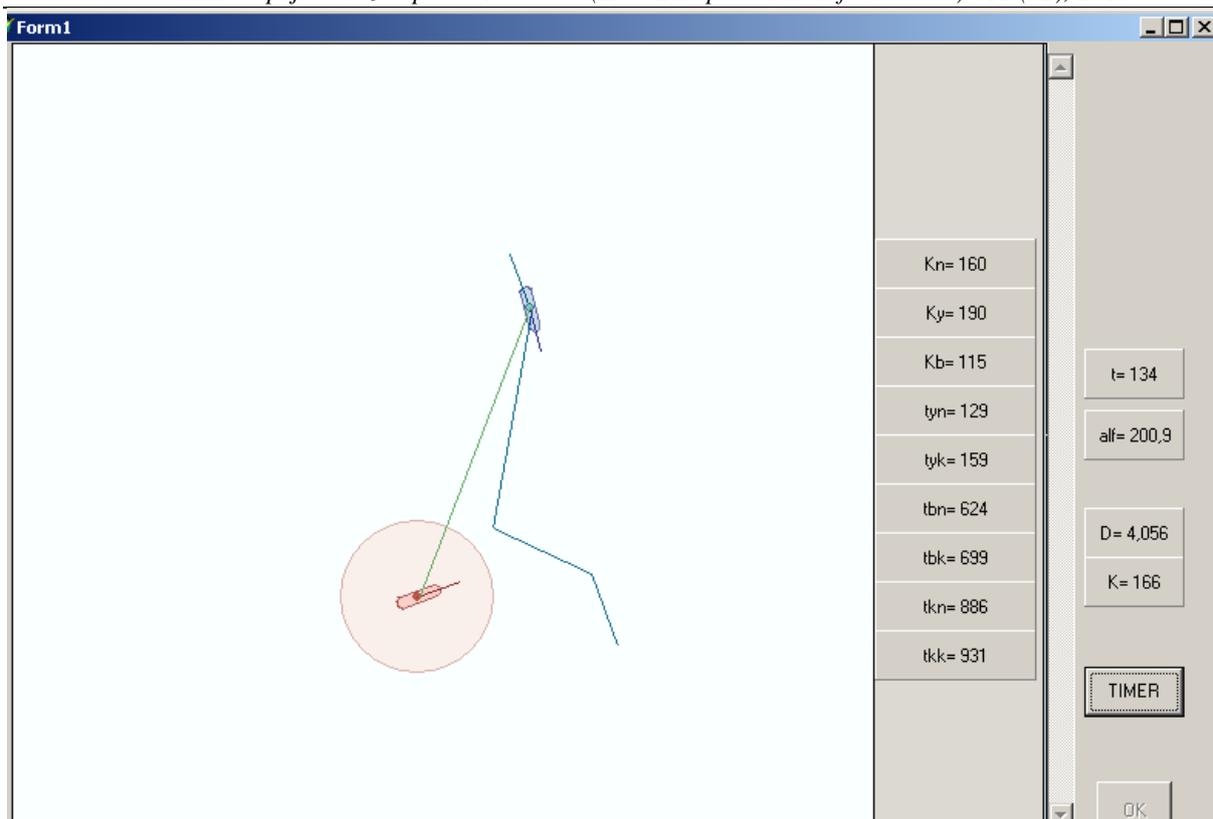


Рис. 2. Начало поворота судна на участок уклонения (ситуация 1)

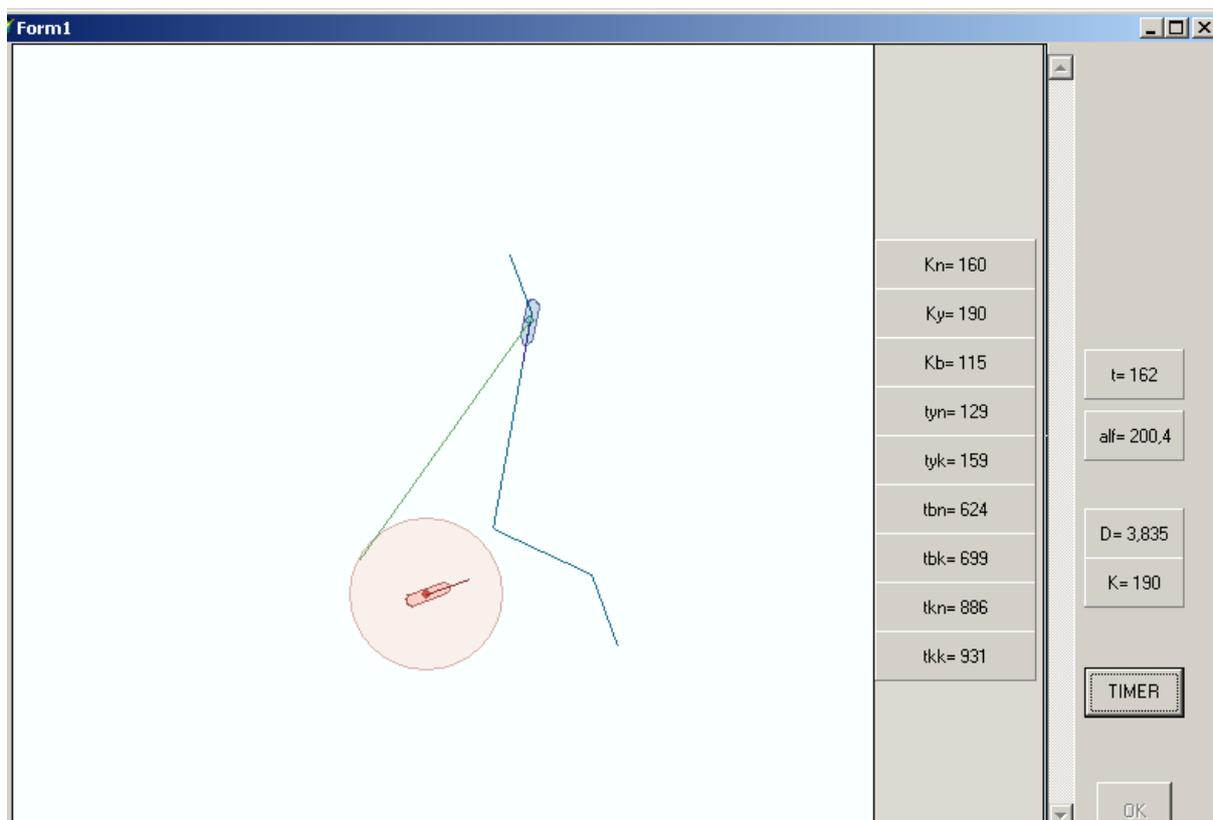


Рис. 3. Завершение поворота судна на участок уклонения (ситуация 1)

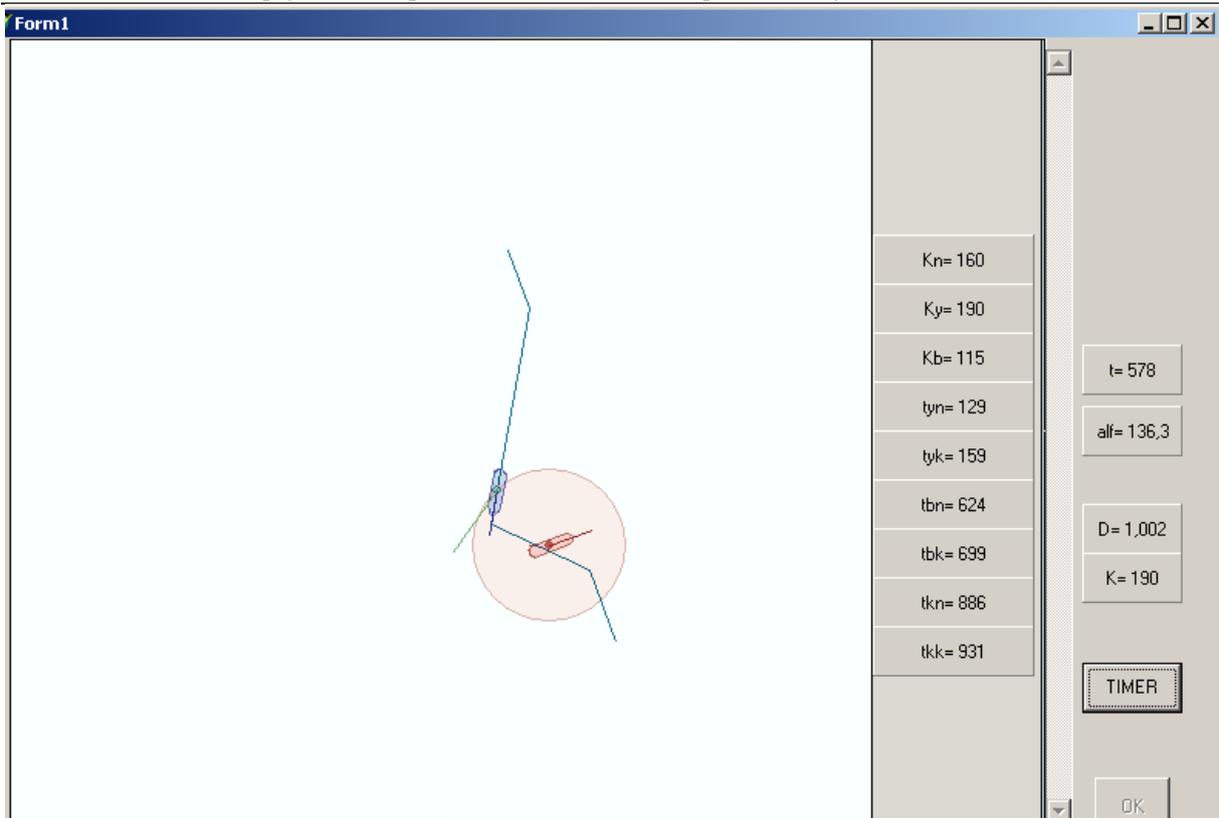


Рис. 4. Момент кратчайшего сближения судна с целью (ситуация 1)

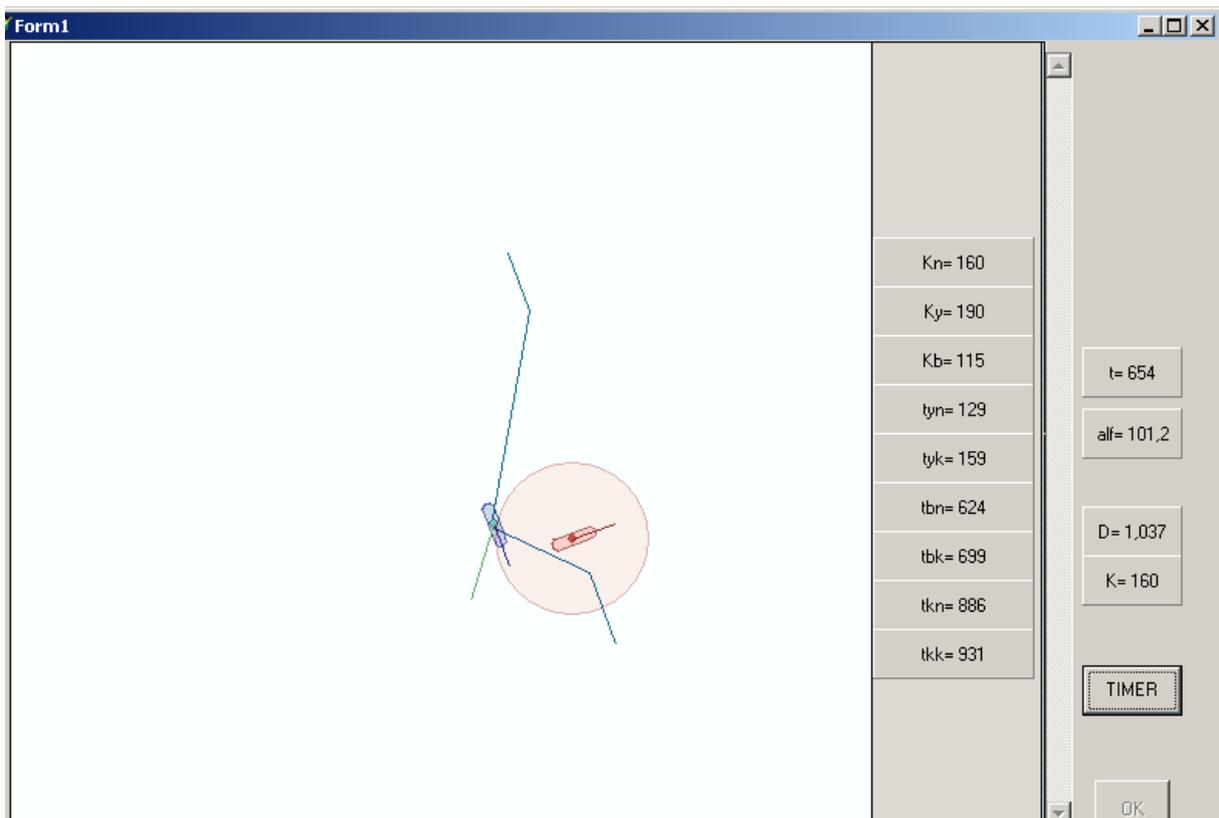


Рис. 5. Начало поворота судна на участок выхода (ситуация 1)

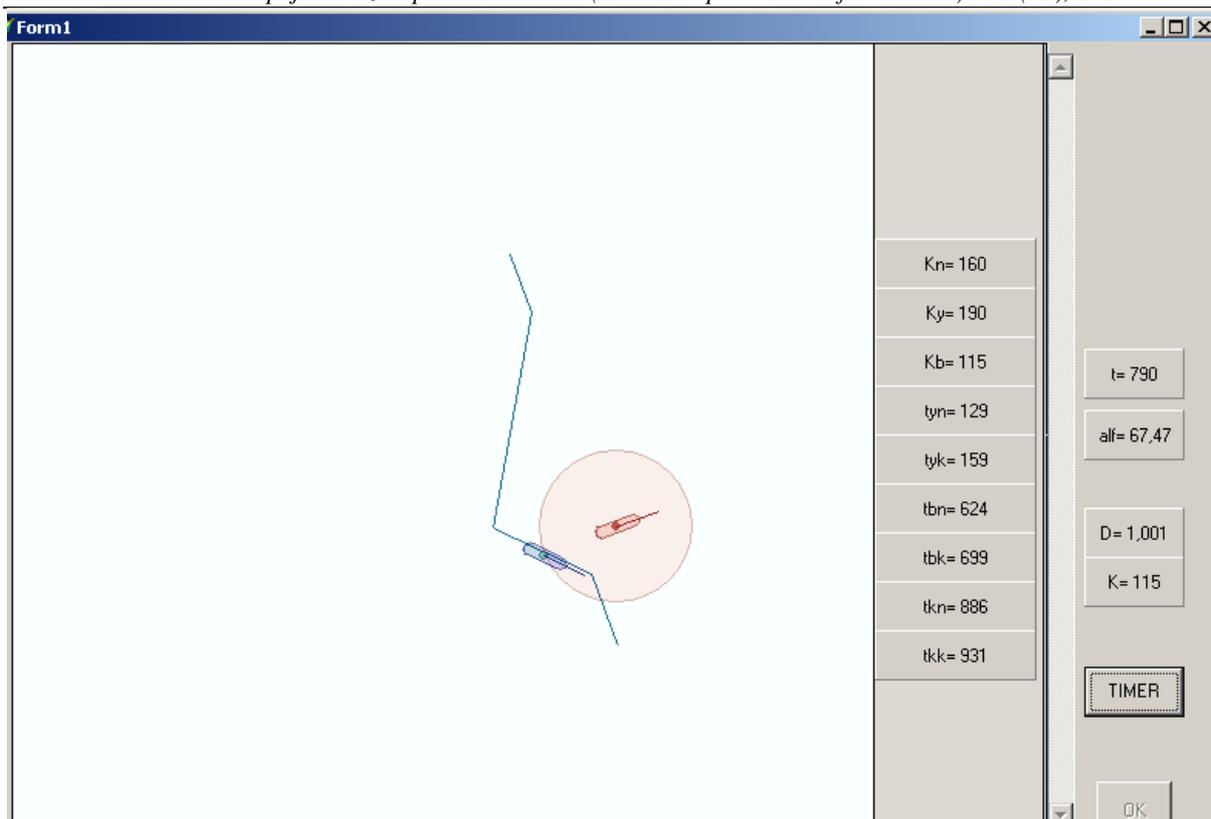


Рис. 6. Кратчайшее сближение на участке выхода (ситуация 1)

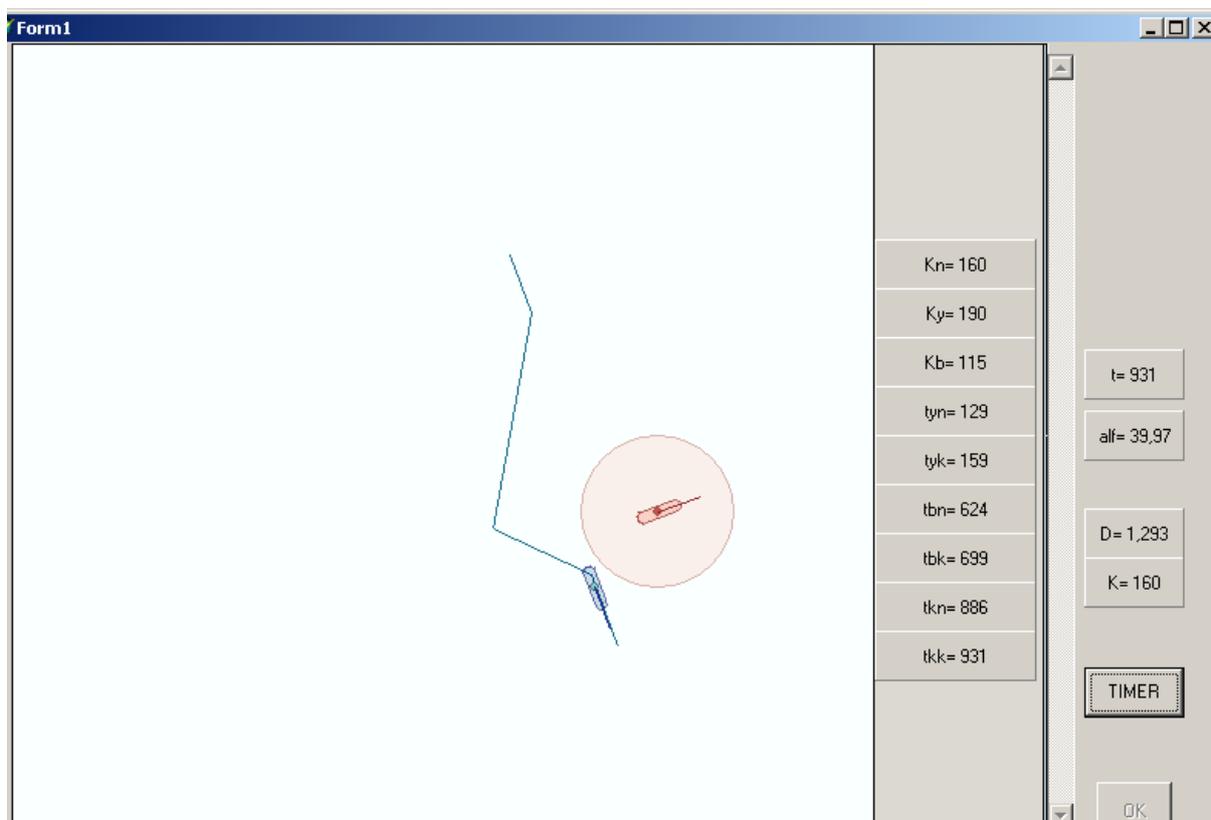


Рис. 7. Возвращение судна на программную траекторию (ситуация 1)

Вторая ситуация опасного сближения судна с целью характеризуется параметрами: пеленгом $\alpha = 286^\circ$, дистанцией $D = 5$ миль, $K_o = 180^\circ$, $V_o = 18$ узлов, $K_c = 130^\circ$, $V_c = 25$ узлов. Истинная траектория расхождения судна выбрана отворотом

вправо. Относительная и истинная траектории расхождения показаны на рис. 8, причем относительная траектория имеет форму Δ_{tst1} . Параметры маневра расхождения приведены на том же рис. 8. На рис. 9 ÷ 13 отображен процесс

расхождения и подтверждена корректность метода выбора маневра расхождения. На рис. 10 приведен процесс расхождения судна с целью на начальный момент времени поворота судна на участок уклонения. На рис. 11 отображено начало поворота

судна на участок выхода. На 987 с процесса расхождения достигается дистанция кратчайшего сближения на участке выхода, что показано на рис. 12. Рис. 13 показывает поворот судна на программную траекторию движения.

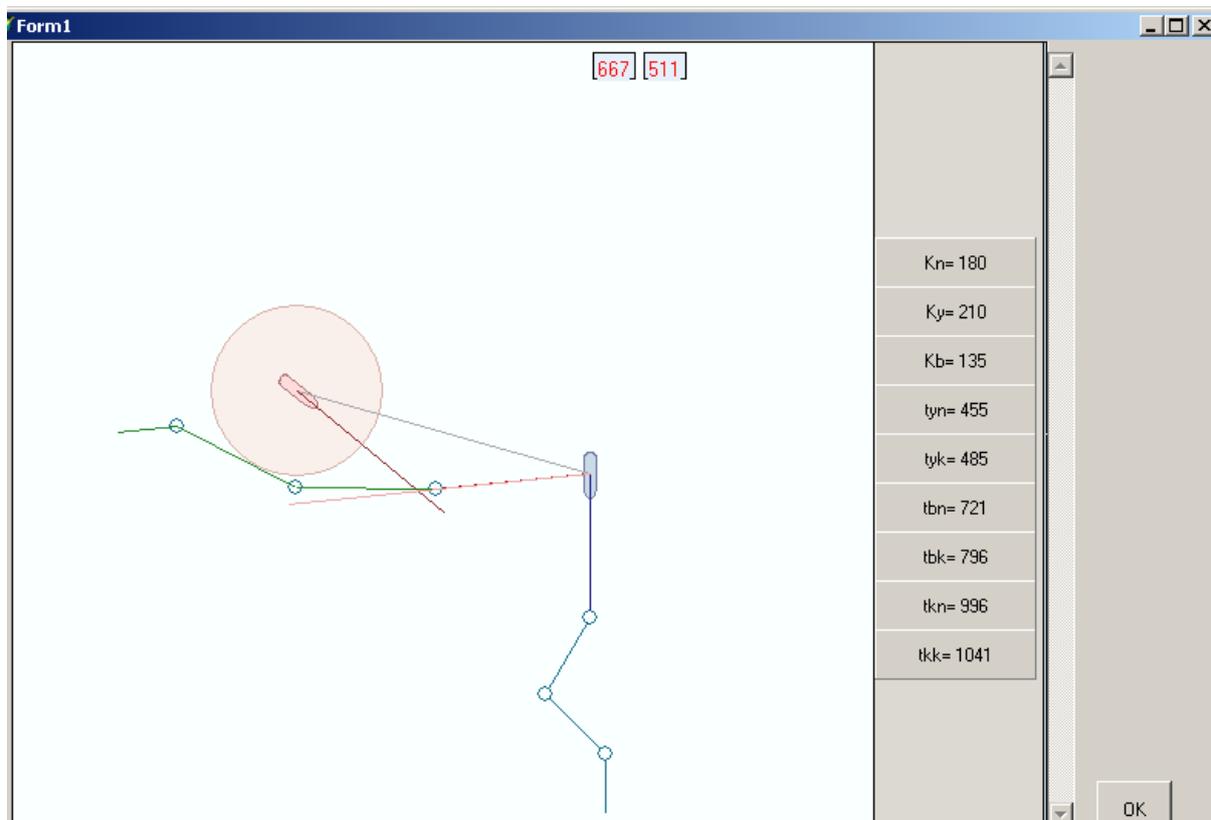


Рис. 8. Траектории истинного и относительного расхождения (ситуация 2)

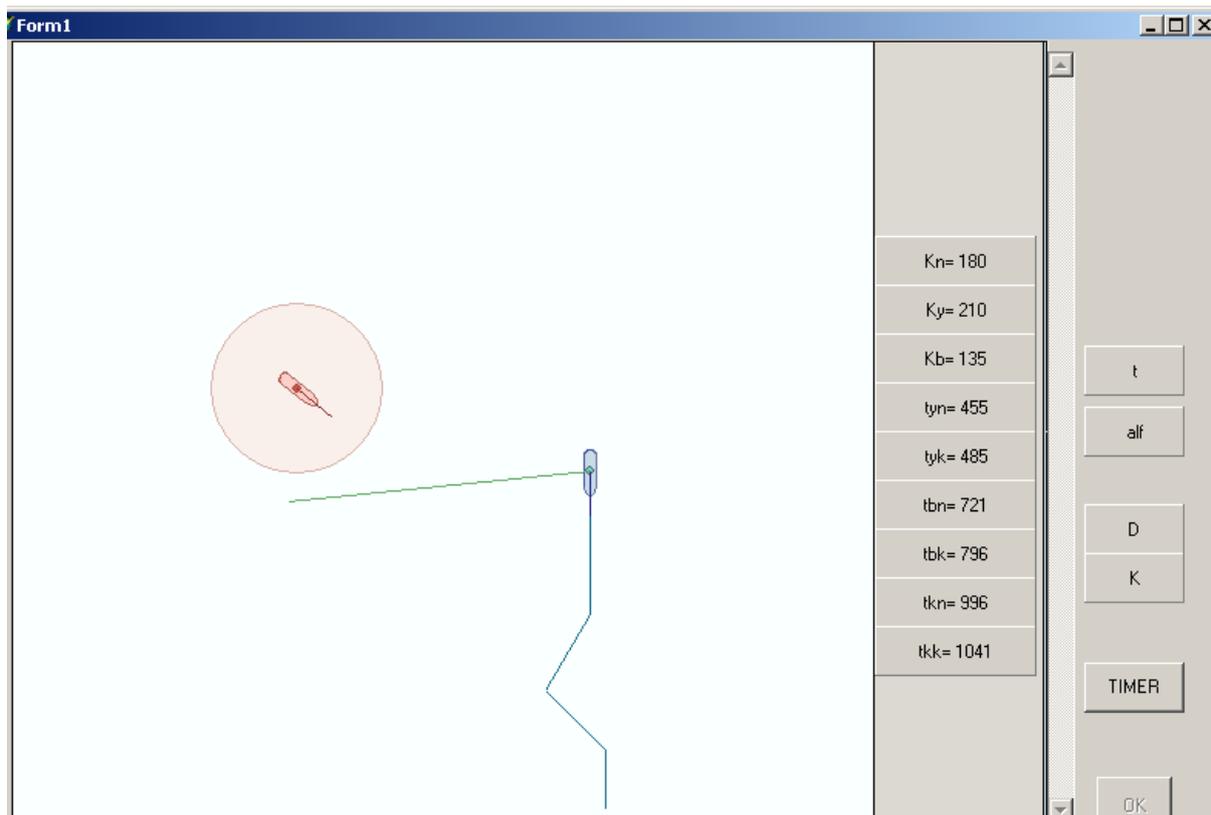


Рис. 9. Начальная позиция процесса расхождения (ситуация 2)

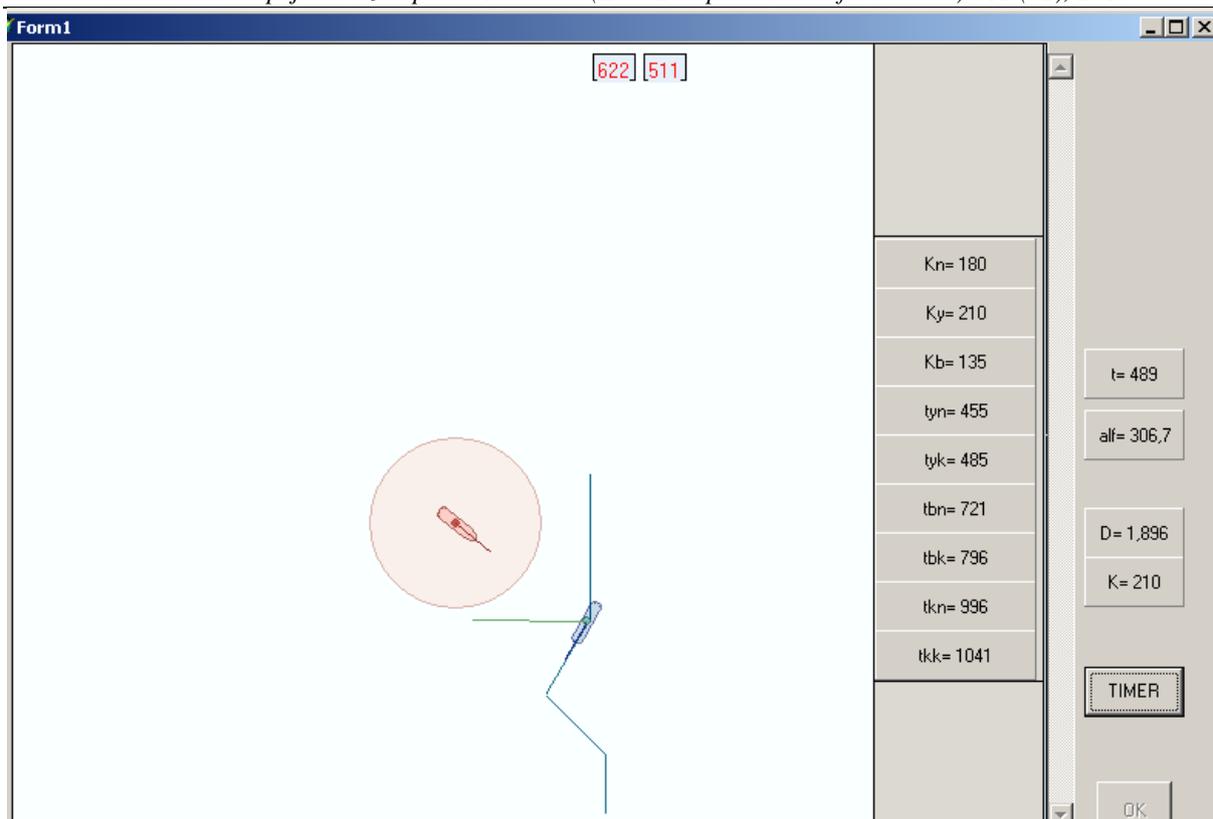


Рис. 10. Поворот судна на участок уклонения (ситуация 2)

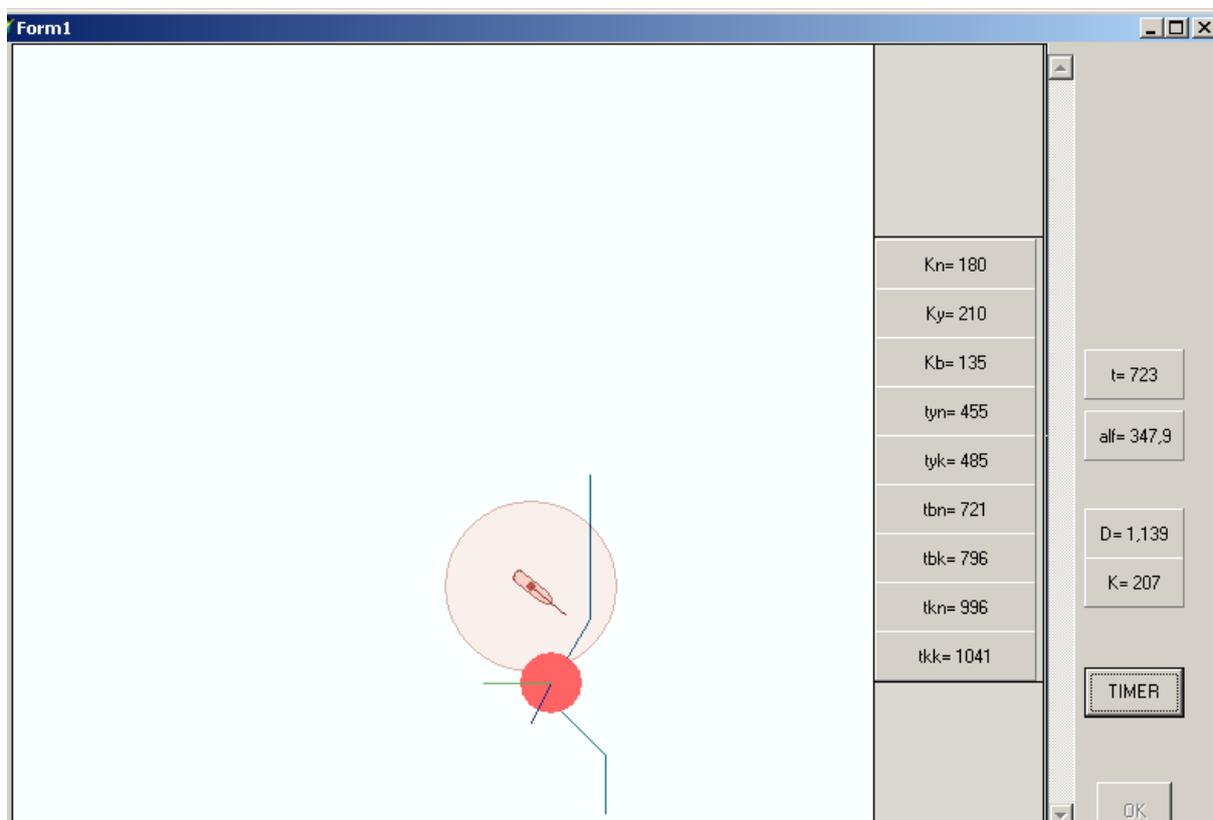


Рис. 11. Начало поворота судна на участок выхода (ситуация 2)

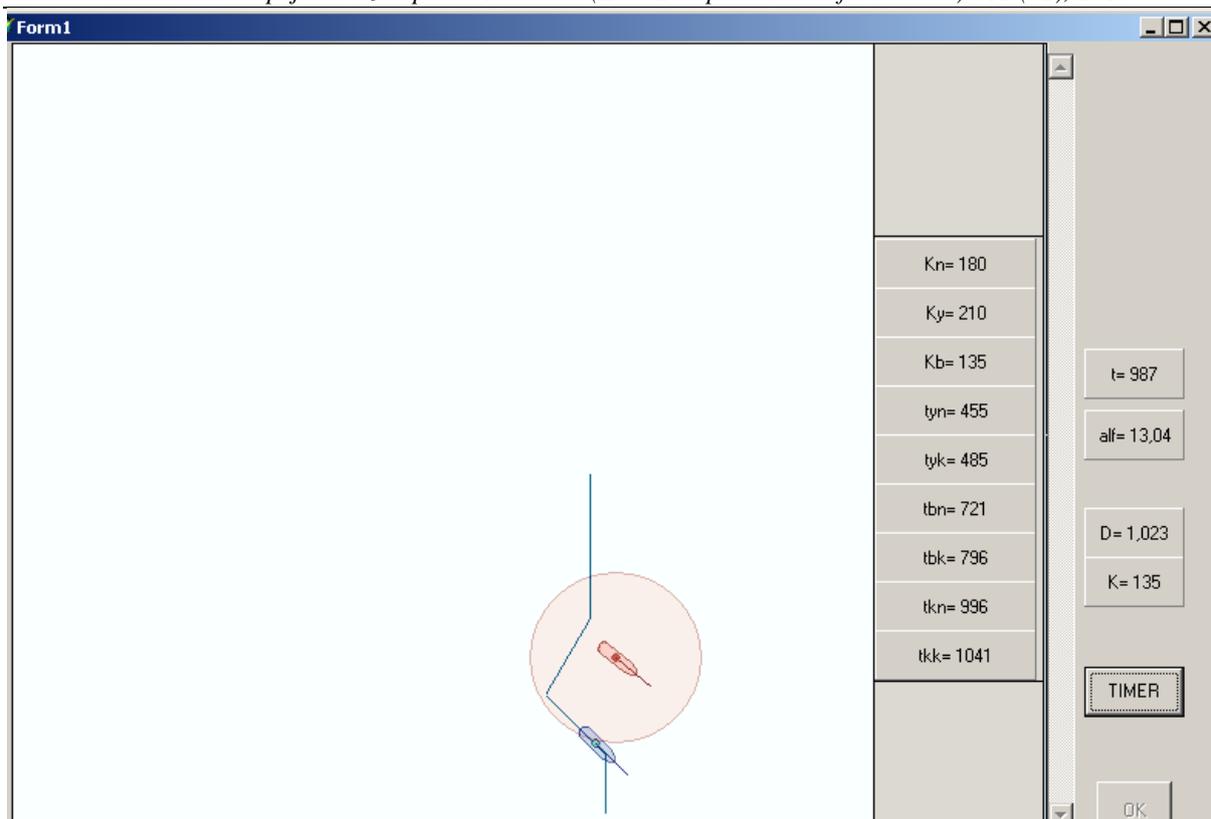


Рис. 12. Момент кратчайшего сближения судна с целью (ситуация 2)

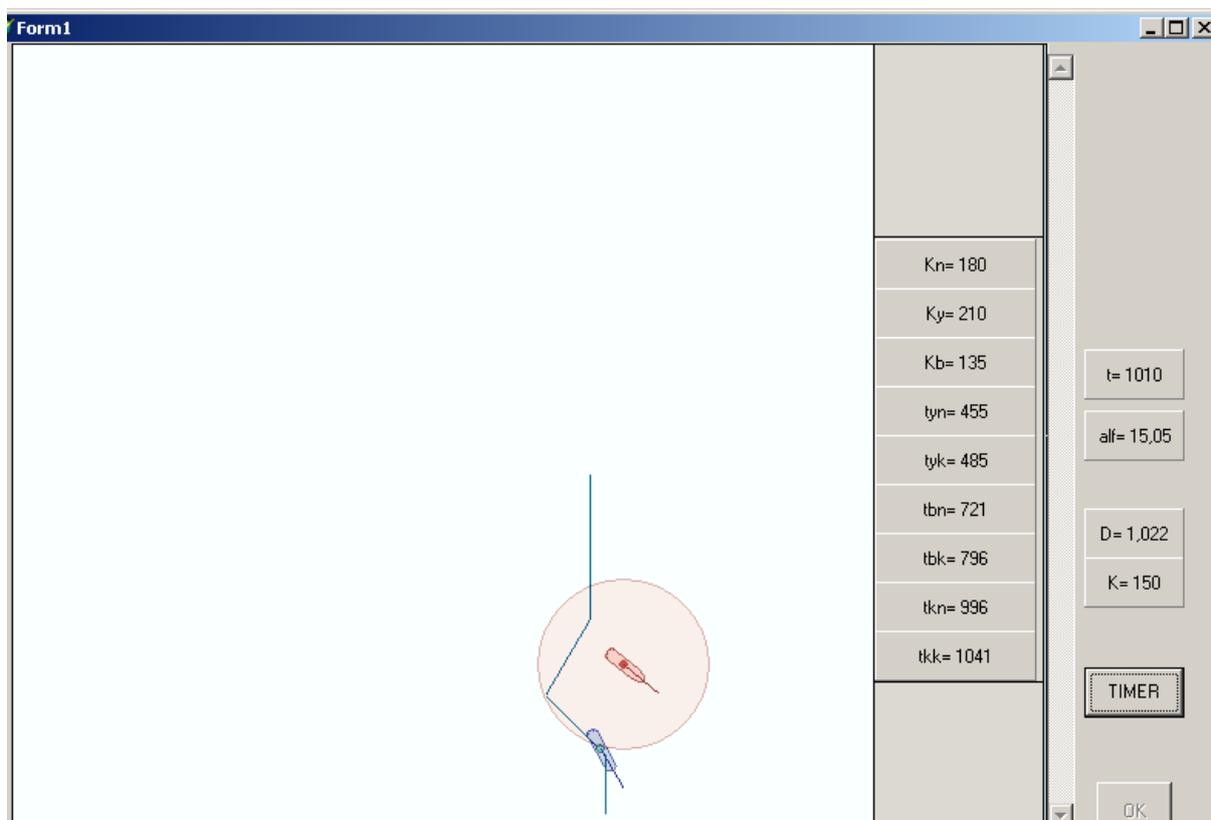


Рис.13. Начало поворота судна на программную траекторию (ситуация 2)

Выводы и предложения.

1. Приведены аналитические выражения расчета моментов времени изменения курса оперирующего судна при реализации маневра расхождения.

2. Показано, что для проверки метода выбора безопасного маневра расхождения оперирующего судна с целью изменением курса была разработана имитационная компьютерная программа, которая содержит модуль моделирования процесса

расхождения судов с рассчитанными параметрами маневра.

3. Рассмотрены результаты имитационного моделирования маневров расхождения судна с целью, рассчитанных имитационной компьютерной программой для выбранных ситуаций опасного сближения судна с целью.

Список литературы:

1. Павлов В.В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов/ В.В. Павлов, Н.И. Сеньшин // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. - № 68. - С. 43-45.

2. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.

3. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.

4. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

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. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / И.В. Сафин // Автоматизация

судовых технических средств. - №7. - 2002. - С. 115-120.

7. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.

8. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. – 2005. - №10. – С. 21 – 25.

9. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103 - 107.

10. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129-142.

11. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. - 2005. – Gdańsk. – P. 71 - 78.

12. Омельченко Т.Ю. Отображение траектории расхождения судна уклонением вправо в множество форм относительных траекторий / Омельченко Т.Ю., Пятаков Э.Н., Тюпиков Е.Е. //East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 58 - 69.