

Взаимосвязь форм истинной и относительной траекторий расхождения

Т. Ю. Омельченко

Национальный Университет «Одесская Морская Академия», Одесса, Украина
Corresponding author. E-mail: burmaka-mob@ukr.net

Paper received 08.12.17; Revised 13.12.17; Accepted for publication 15.12.17.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2017-148V16-22>

Аннотация. Рассмотрены основы взаимосвязи форм истинной и относительной траекторий расхождения, причем показано, что двум формам истинной траектории расхождения в общем случае соответствует четыре формы относительной траектории. Указывается, что форма относительной траектории расхождения определяет вид аналитических выражений расчета параметров стратегии расхождения. Для одной из форм относительной траектории расхождения определены моменты времени поворота судна для реализации безопасного маневра предупреждения столкновения. Приведен пример с использованием компьютерной программы.

Ключевые слова: безопасность судовождения, расхождение судов, формы истинной и относительной траекторий расхождения.

Введение. Снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах остается одной из важнейших проблем обеспечения безопасного судовождения. До сих пор аварийность по причине столкновений судов находится на недопустимом уровне, чем диктуется потребность разработки более эффективных способов расхождения судов. Поэтому совершенствование способов обеспечения безопасности процесса расхождения судов, в частности расчетом параметров стратегии расхождения судна в зависимости от формы относительной траектории расхождения, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

Краткий обзор публикаций по теме. Работа [1] посвящена всестороннему исследованию методов локально-независимого управления, и предложен метод формирования гибких стратегий расхождения для ситуаций расхождения судна с несколькими опасными целями. Принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов изложены в работе [2], в ней также приведен анализ методов их реализации.

Взаимодействие судов при возникновении угрозы столкновения и выбор стратегии безопасного расхождения рассмотрены в работе [3]. В работах [4, 5] рассмотрен выбор стратегии расхождения судна с учетом инерционности судна и навигационных опасностей. В работе [6] рассмотрена ситуация чрезмерного сближения судов и предложена стратегия экстренного расхождения, структура которой определяется текущим поведением цели. Формализация процесса расхождения судов, как дифференциальной антагонистической игры приведена в работе [7], а в работе [8] рассмотрен выбор оптимального маневра расхождения пары судов.

Анализируемые работы рассматривают различные аспекты проблемы предупреждения столкновения судов, но в них упущен важный вопрос связи форм истинной и относительной траекторий расхождения и учет этого обстоятельства при выборе маневра расхождения изменением курса судна.

Цель. Целью настоящей статьи являются общие сведения взаимосвязи форм относительной и истинной траекторий расхождения судов и выявление влияния одной из форм относительной траектории расхождения на выбор параметров стратегии расхождения.

Материалы и методы. Форму истинной траектории расхождения, которая характеризуется отклонением вправо, обозначим T_s , а форму истинной траектории расхождения отклонением влево - T_p . Обе формы показаны на рис. 1.

В общем случае относительная траектория расхождения может принимать одну из форм, которые показаны на рис. 2. В случае, когда скорость судна V_o превосходит скорость цели V_c , т. е. $V_o > V_c$, формы истинных и относительных траекторий расхождения совпадают. Другими словами, имеют место только два соответствия: $T_p \rightarrow T_1$ и $T_s \rightarrow T_2$.

Ситуация изменяется, когда скорость маневрирующего судна меньше скорости цели, т. е. $V_o < V_c$, что происходит из-за того, что при увеличении истинного курса судна K_o относительный

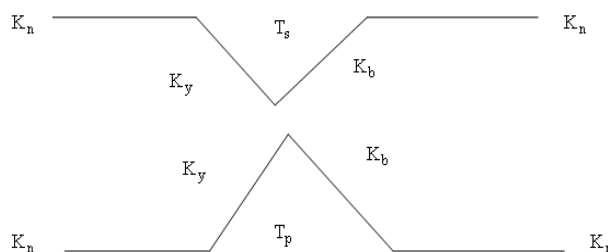


Рис. 1. Формы истинной траектории расхождения

курс K_{ot} имеет как участок роста, так и участок убывания [1]. Поэтому в зависимости от разности курсов судов и отношения их скоростей каждой из форм истинной траектории расхождения как T_s , так и T_p , могут соответствовать все четыре формы относительной траектории расхождения. Следовательно, при $V_o < V_c$ могут иметь место следующие соответствия: $T_p \rightarrow \{T_1, T_2, T_3, T_4\}$, и $T_s \rightarrow \{T_1, T_2, T_3, T_4\}$.

Если курсы траектории расхождения K_n , K_y и K_b принадлежат только одному участку роста или убывания относительного курса K_{ot} , то каждой из форм T_s и T_p истинной траектории расхождения могут соответствовать формы T_1 и T_2 относительной траектории, т. е. $T_p \rightarrow \{T_1, T_2\}$, и $T_s \rightarrow \{T_1, T_2\}$. Если

же курсы K_n , K_y и K_b истинной траектории расхождения принадлежат различным участкам изменения относительного курса, то возникают предпосылки к возникновению форм T_3 и T_4 относительной траектории расхождения и могут реализоваться соответственно: $T_p \rightarrow \{T_3, T_4\}$, и $T_s \rightarrow \{T_3, T_4\}$. Отметим очень важное обстоятельство, связанное с формой относительной траектории. Дело в том, что расчет параметров стратегии расхождения производится с помощью выражений, аналитический вид которых определяется именно формой реализовавшейся относительной траектории расхождения.

Поэтому каждая из форм $T_1 \div T_4$ относительной траектории расхождения характеризуется своей системой формул для расчета параметров стратегии расхождения.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим ситуацию, когда имеет место соответствие $T_p \rightarrow T_3$, т.е. истинной траектории уклонения влево соответствует относительная траектория двойного изменения относительного курса

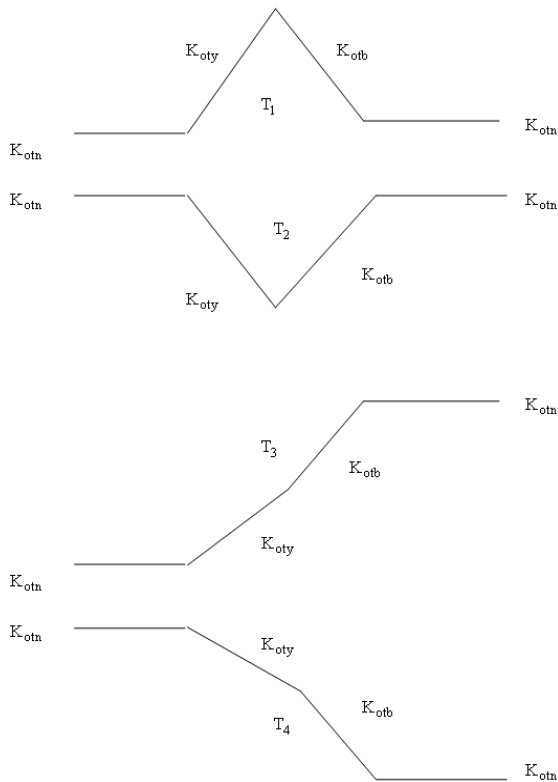


Рис. 2. Формы относительной траектории расхождения

влево. На рис. 3 показано расположение курсов K_n , K_y и K_b судна относительно кривой зависимости относительного курса.

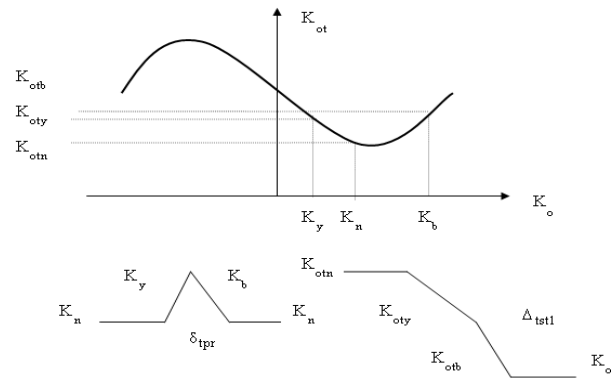


Рис. 3. Ситуация возникновения формы T_3 относительной траектории расхождения

В качестве примера рассмотрим ситуацию опасного сближения судна с целью, которая характеризуется параметрами: пеленгом $\alpha = 106^\circ$, дистанцией $D = 5$ миль, $K_o = 180^\circ$, $V_o = 18$ узлов, $K_c = 230^\circ$, $V_c = 25$ узлов и показана на рис. 4. Истинная траектория расхождения судна выбрана отворотом влево на 30° и возвращения на заданную траекторию под углом 45° , а относительная траектория расхождения имеет форму T_3 (рис. 4).

Процесс расхождения отображен на рис. 5 и 6. На рис. 5 показан поворот судна на участок уклонения, а поворот судна на участок выхода отображен на рис. 6.

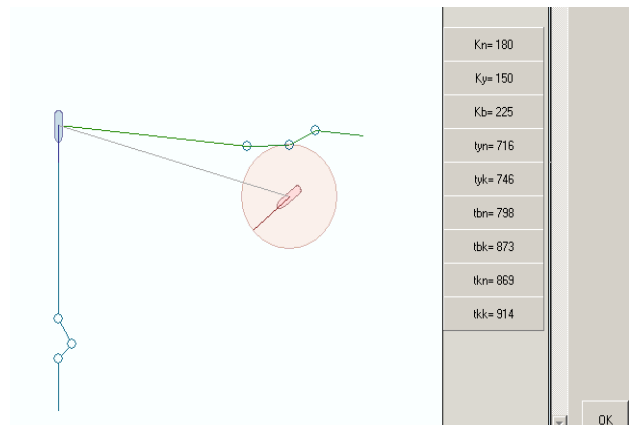


Рис. 4. Начальная ситуация и траектории истинного и относительного расхождения

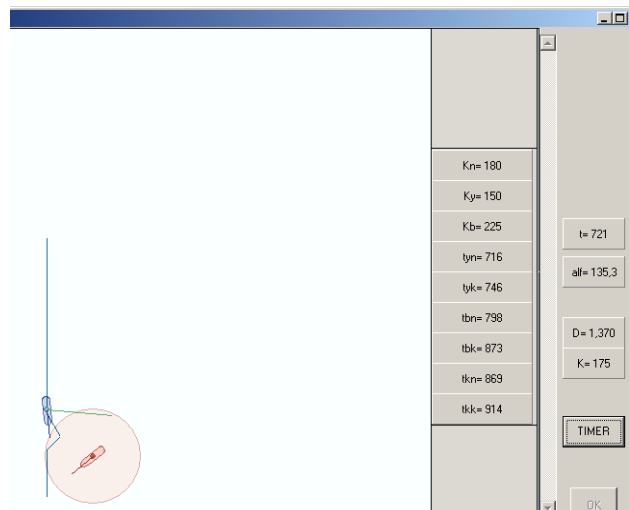


Рис. 5. Поворот судна на участок уклонения

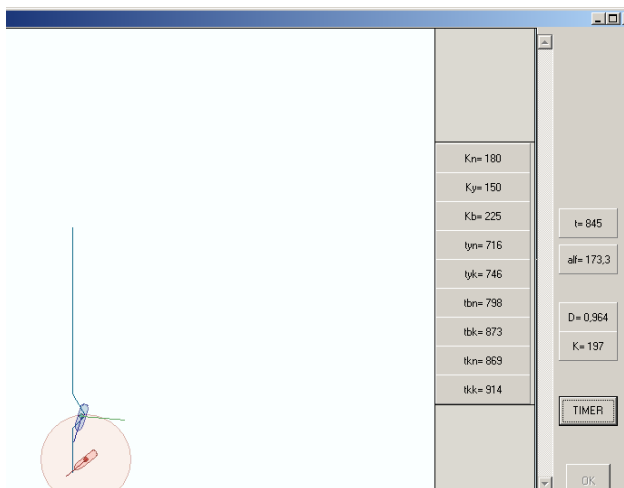


Рис. 6. Поворот судна на участок выхода

Выводы

1. Приведена характеристика двух форм истинной траектории расхождения и четырех форм относительной траектории. Изложены общие сведения взаимозависимости форм истинной и относительной траекторий расхождения.
2. Показано влияние одной из форм относительной траектории расхождения на расчет моментов времени поворота на соответствующие участки безопасного маневра расхождения.
3. Предложен расчетный пример выбора маневра расхождения с рассмотренной формой относительной траектории, реализованный компьютерной программой, корректность которого подтверждена имитационным моделированием.

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. 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.
3. 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.
4. Бурмака И.А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / Бурмака И.А. // Судовождение. - 2005. - №10. - С. 21 - 25.
5. Петриченко Е.А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Петриченко Е.А. // Судовождение. - 2003. - №6. - С. 103 - 107.
6. 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.
7. 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.
8. Сафин И.В. Выбор оптимального маневра расхождения / И.В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. - №7. - 2002. - С. 115-120.

REFERENCES

1. Tsymbal N. Flexible strategies of divergence of vessels / N. Tsymbal, I.Burmaka, E. Tyupikov, Odessa: KP OGT, 2007. - 424 p.
2. Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A.- LAP LAMBERT Academic Publishing, - Saarbrücken (Germany), - 2016. - 585 p.
3. Pyatakov E.Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / Pyatakov E., Buzhbetskiy R., Burmaka I., Bulgakov A., Kherson: Grin D.S., 2015. - 312 p.
4. Burmaka Y.A. Results of imitation design of process of divergence of vessels taking into account their dynamics / Burmaka Y.A.// Sudovozhdenye: sb. nauchn. trudov. - 2005.- №10. - P. 21 - 25.
5. Petrichenko E.A. Conclusion of condition of existence of great number of possible manoeuvres of divergence taking into account navigation dangers/ Petrichenko E.A. // Sudovozhdenie.- 2003.- №6. - p. 103 - 107.
6. Burmaka I. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels / Burmaka I., Burmaka A., Buzhbetskiy R. - LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. - 202 p.
7. 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.
8. Safin I.V. Choice of optimum maneuver of divergence / I.V. Safin // Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv. - 2002.- №7. - p. 115 -120.

Взаимосвязь форм истинной и относительной траекторий расхождения

Т. Ю. Омельченко

Аннотация. Рассмотрены основы взаимосвязи форм истинной и относительной траекторий расхождения, причем показано, что двум формам истинной траектории расхождения в общем случае соответствует четыре формы относительной траектории. Указывается, что форма относительной траектории расхождения определяет вид аналитических выражений расчета параметров стратегии расхождения. Для одной из форм относительной траектории расхождения определены моменты времени поворота судна для реализации безопасного маневра предупреждения столкновения. Приведен пример с использованием компьютерной программы.

Ключевые слова: безопасность судовождения, расхождение судов, формы истинной и относительной траекторий расхождения.

The relationship between the forms of the true and relative passing trajectories

T. Yu. Omelchenko

Abstract. The bases of the relationship between the forms of the true and relative discrepancy trajectories are considered, and it is shown that in the general case there are four forms of the relative trajectory corresponding to the two forms of the true passing trajectory. It is indicated that the form of the relative trajectory of discrepancy determines the type of analytical expressions for calculating the parameters of the discrepancy strategy. For one of the forms of the relative passing trajectory, the moments of the turn of the vessel are determined to implement a safe collision avoidance manoeuvre. An example is given using a computer program.

Keywords: safety of navigation, passing of ships, forms of true and relative passing trajectories.