

Имитационное моделирование процесса расхождения четырех судов

А. Ю. Булгаков, Е. Е. Тюпиков

Национальный университет «Одесская морская академия», Одесса, Украина
Corresponding author. E-mail: burmaka1964@gmail.com

Paper received 24.01.20; Accepted for publication 14.02.20.

<https://doi.org/10.31174/SEND-NT2020-224VIII27-14>

Аннотация. Показано, что для проверки корректности метода выбора параметров маневра расхождения группы судов была разработана компьютерная программа, которой для заданной опасной ситуации определяется маневр расхождения судов изменением их курсов и производится его имитационное моделирование. В качестве примера рассмотрена ситуация опасного сближения четырех судов, для которой с помощью областей недопустимых значений курсов судов получены параметра оптимального расхождения и представлены результаты имитационного моделирования, подтверждающие корректность выбранного маневра расхождения.

Ключевые слова: безопасность судоходства, процесс расхождения судов, область недопустимых значений курсов, имитационное моделирование.

Введение. Стесненные воды характеризуются высокой интенсивностью судоходства, и зачастую возникают ситуации опасного сближения группы судов, которые затрудняют движение друг друга с угрозой столкновения. В таких районах устанавливаются системы управления движением судов (СУДС). Безопасность движения в районе действия СУДС зависит от достоверной оценки текущей ситуации и корректности алгоритмов управления, что требует разработки методов расхождения группы опасно сближающихся судов. Следовательно, создание методов безопасного расхождения группы судов является актуальным и своевременным, чему и посвящена настоящая работа.

Краткий обзор публикаций по теме. В работах [1, 2] предложена формализация взаимодействия судов при расхождении методами теории дифференциальных игр, а в работе [3] предложен метод нелинейной интегральной инвариантности для описания процесса расхождения и выбора одношагового маневра предупреждения столкновения. В работе [4] для описания процесса расхождения используются методы теории оптимальных дискретных процессов, а монография [5] посвящена методу предупреждения столкновения судов путем смещения на параллельную линию пути.

Аналитическое описание взаимодействия судов при возникновении угрозы столкновения предложено в работе [6], с его помощью произведена алгоритмизация МППСС-72, а в работе [7] изложены результаты исследования эффективности парных маневров расхождения. Монография [8] посвящена всестороннему исследованию принципа локально-независимого управления процессом расхождения и разработан метод гибких стратегий их расхождения.

Цель. Цель настоящей статьи - рассмотреть способ выбора маневра расхождения группы судов и с помощью имитационного моделирования подтвердить его корректность.

Материалы и методы. В работе [9] рассмотрен метод выбора безопасного маневра расхождения группы судов. Для проверки его корректности была разработана компьютерная программа, определяющая с помощью упомянутого метода параметры маневра расхождения с последующим его имитационным моделированием. В качестве примера рассмотрена ситуация сближения четырех судов, которая отображается на экране монитора, как показано на рис. 1. Согласно индикатору опасности, расположенному в левом нижнем углу, сближение каж-

дой пары судов является опасным – все сектора красного цвета.

Анализ начальной ситуации сближения судов показывает, что для обращения матрицы ситуационного возмущения в нулевую матрицу необходимо изменение курсов не менее трех судов. Поэтому вначале рассмотрим выбор безопасных курсов первого и второго судов.

На рис. 2 показана область опасных курсов первого и второго судов. С помощью соответствующей клавиши производится выбор курса первого судна K1 и линейкой прокрутки начинаем уменьшать его значение до обращения в ноль ситуационных возмущений ω_{12} , ω_{13} и ω_{14} , как показано на рис. 3. Это происходит при значении курса первого судна K1, равного 26° .

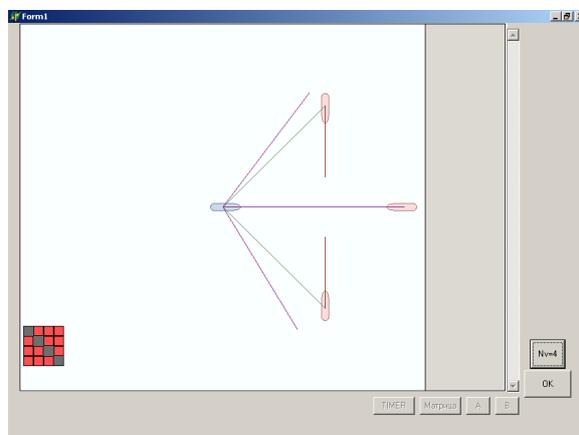


Рис. 1. Начальная ситуация сближения четырех судов

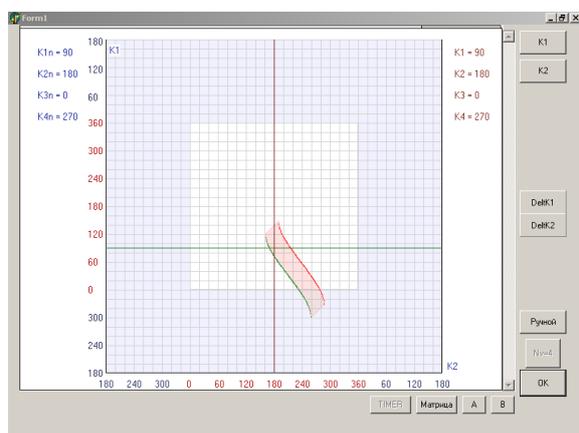


Рис. 2. Область опасных курсов первого и второго судов

Причем соответствующие сектора индикатора опасности окрашиваются в зеленый цвет. Затем с помощью клавиши «K2» производится выбор курса второго судна и увеличиваем его с помощью линейки прокрутки, как показано на рис. 4, до обращения в нуль ситуационных возмущений ω_{23}



Рис. 3. Выбор безопасного курса K1 первого судна

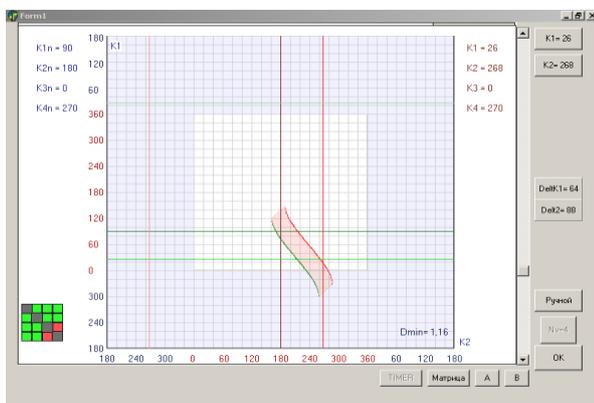


Рис. 4. Выбор безопасного курса K2 второго судна

и ω_{24} , что видно из индикатора опасности, соответствующие сектора которого окрашены в зеленый цвет. Таким образом, пять ситуационных возмущений компенсированы изменением курса первого судна на 64° влево и курса второго судна вправо на 88° .

Однако осталось некомпенсированным ситуационное возмущение ω_{34} , для чего необходимо изменить курс третьего или четвертого судна. В любом случае, необходим вывод области опасных курсов третьего и четвертого судов, которая показана на рис. 5.

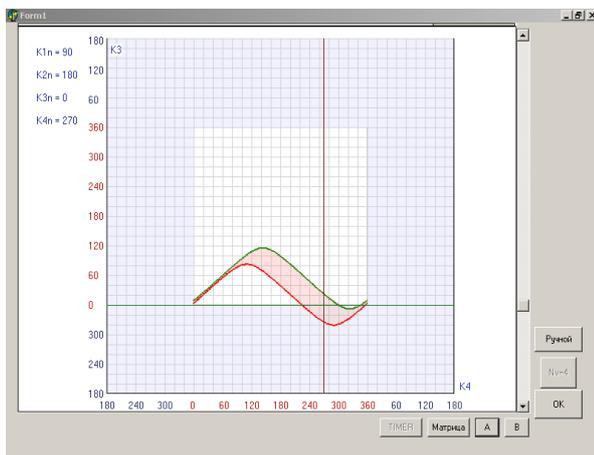


Рис. 5. Область опасных курсов третьего и четвертого судов

Обращаем внимание на то обстоятельство, что точка пересечения начальных курсов судов принадлежит области опасных курсов. Для вывода точки пересечения курсов с области опасных курсов с минимальным изменением курса следует произвести отворот третьего судна вправо до границы области.

Как следует из рис. 6, это происходит при повороте третьего судна на курс 24° , индикатор опасности показывает, что в этом случае матрица ситуационного возмущения обращается в нулевую матрицу, а дистанция кратчайшего сближения третьего и четвертого судов составит 1,03 мили.

Результаты и их обсуждение. Для проверки корректности описанного метода выбора параметров маневра расхождения четырех судов производилось имитационное моделирование (проигрывание) процесса их расхождения с помощью составного модуля компьютерной программы.

Ситуация проигрывания маневра расхождения судов на 3с времени показана на рис. 7, из которого видно, что первое, второе и третье суда изменили начальные курсы, а четвертое судно следует начальным курсом.

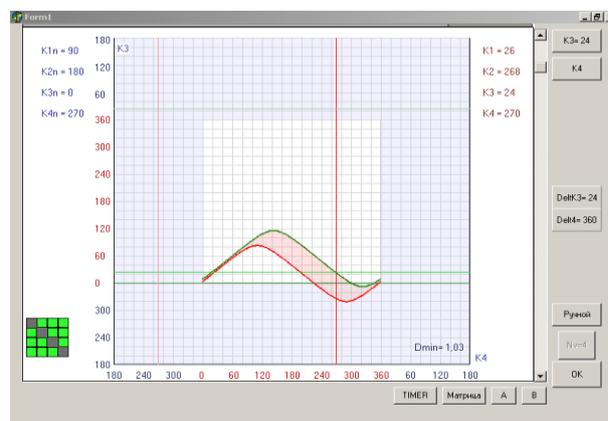


Рис. 6. Выбор безопасного курса третьего судна

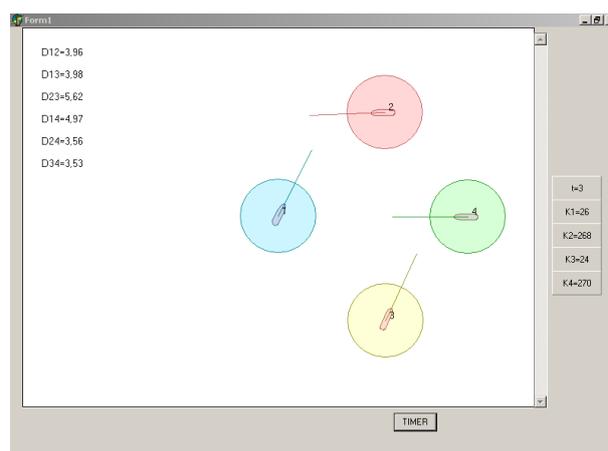


Рис. 7. Ситуация процесса расхождения на 3с времени

Следует отметить, что выбранный вариант курсов расхождения судов является одним из возможных, и представлен здесь лишь для иллюстрации предлагаемого графического метода определения оптимального маневра расхождения группы судов с помощью компьютерного моделирования.

Первыми на кратчайшую дистанцию сближаются третье и четвертое суда (рисунок 5.30). Момент времени кратчайшего сближения этой пары судов равен 322с,

причем сама дистанция кратчайшего сближения составляет 1,04 мили, что соответствует минимальной дистанции между судами при выборе безопасного курса третьего судна.

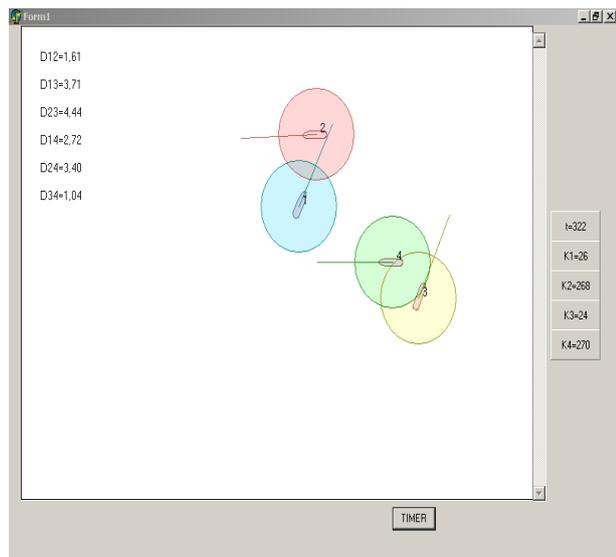


Рис. 8. Ситуация кратчайшего сближения третьего и четвертого судов

В момент времени, равный 463 с, дистанции кратчайшего сближения 1,18 мили достигают первое и второе суда, как показано на рис. 9, а дистанция кратчайшего сближения между первым и четвертым судами значением 2,14 мили достигается на 534 с времени (рис. 10).

Выводы

1. Рассмотрен метод выбора маневра расхождения группы четырех опасно сближающихся судов, который реализован с помощью компьютерной программы.
2. Приведены результаты имитационного моделирования процесса расхождения четырех судов, которые опасно сближаются.
3. Показано, что проверка имитационным моделированием подтвердила корректность предложенного мето-

да.

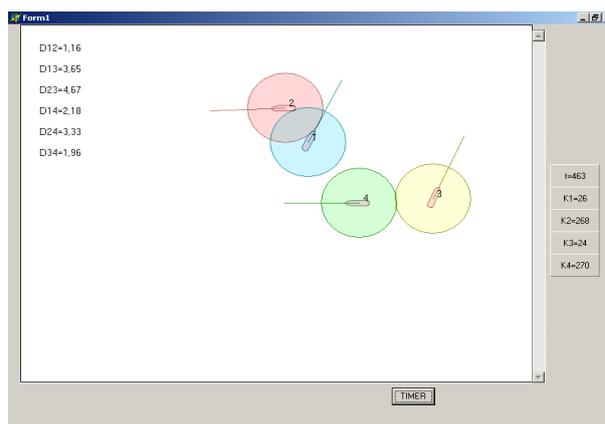


Рис. 9. Ситуация кратчайшего сближения первого и второго судов

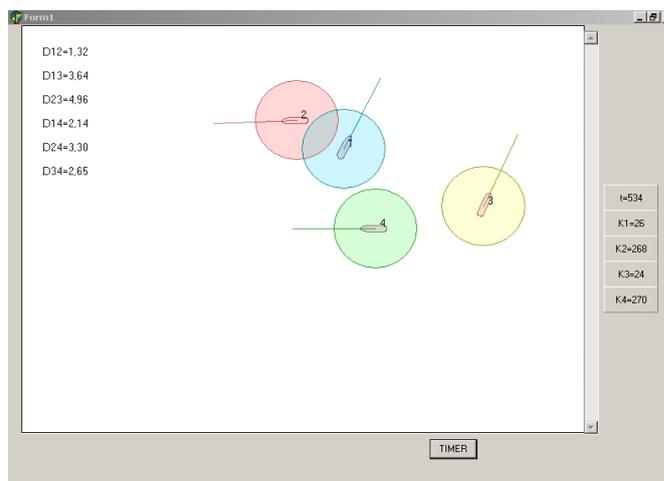


Рис. 10. Ситуация кратчайшего сближения первого и четвертого судов

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудряшов В. Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / В. Е. Кудряшов // Судостроение. – 1978. - №5. – С. 35-40.
2. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.
3. 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.
4. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. - № 12. - С. 22-24.
5. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
6. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015. -312 с.
7. Пятаков Э.Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э.Н. Пятаков., С.И. Заичко // Судовождение: Сб. научн. трудов. / ОНМА, – Вып.15. - Одесса: "Издательство Информ", 2008. – С. 166 – 171.
8. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н.Цымбал, И.А.Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.
9. 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.

REFERENCES

1. Kudryashov V.E. Synthesis of algorithms of safe management by a ship at divergence with a few objects/Kudryashov V.E. //Sudostroenie. - 1978.- №5.- p. 35 - 40.
2. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. - Vol. 2. - London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.
3. Pavlov V.V. Some questions of choice of maneuver in the situations of divergence of vessels/ Pavlov V.V., Senshin N.I. // Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika. - 1985.- №68. - p. 43 - 45.
4. Kulikov A.M. Optimum management by divergence of vessels / Kulikov A.M., and Poddubnyy V.V.// Sudostroenie. -1984.- №12.- p. 22 - 24.
5. Vagushchenko L.L. Divergence with vessels by displacement on

- the parallel line of way / Vagushchenko L.L.- Odessa: Feniks.- 2013.- 180 p.
6. Pyatakov E.N. Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / Pyatakov E.N., Buzhbeckij R.Y., Burmaka I.A., Bulgakov A. Y. - Kherson: Grin D. S.- 2015.- 312 p.
 7. Pyatakov E. N. Estimation of efficiency of pair strategies of going away vessels / Pyatakov E. N., Zaichko S.I.// Sudovozhdenie. - 2008.- №15. - p. 166 – 171.
 8. Tsymbal N.N. Flexible strategies of divergence of vessels/ Tsimbal N.N., Burmaka I.A. and Tyupikov E.E. - Odessa: KP OGT. - 2007.- 424 p.
 9. 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.

Imitation design of process of divergence of four vessels

A. Yu. Bulgakov, E. E. Tyupikov

It is shown that for verification of correctness of method of choice of parameters of maneuver of divergence of group of vessels the computer program which for the set dangerous situation determines the maneuver of divergence of vessels by the change of their courses and produces his imitation design was developed. As an example the situation of dangerous rapprochement of four vessels is considered, for which by the regions of impermissible values of courses of vessels got parameter of optimum divergence and the results of imitation design are represented, confirmative correctness of the chosen maneuver of divergence.

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