

УДК 004.021

**ВЫБОР И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАСПОЗНАВАНИЯ
ОПАСНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЯ ОБЪЕКТОВ****Макаренко Сергей Сергеевич,**

Магистрант кафедры ИУК5 «Системы обработки информации»,
Калужского филиала Московского государственного технического университета имени
Н.Э. Баумана
город Калуга
m.s.s-2001@mail.ru

Вершинин Евгений Владимирович,

начальник управления научно-технической политики, кандидат физико-математических
наук, доцент, заведующий кафедрой ИУК5 «Системы обработки информации»,
Калужского филиала Московского государственного технического университета имени
Н.Э. Баумана
город Калуга
vershinin@bmstu.ru

Аннотация

В данной работе обоснована важность систем управления движением судов (СУДС), перечислены основные функции СУДС и выявлена проблема влияния человеческого фактора при судовождении. В качестве решения проблемы выдвинуто предложение полной автоматизации предотвращения столкновений в СУДС. Были намечены этапы автоматизации, первым из которых является распознавание опасности столкновений. Рассмотрены и реализованы подходы к обнаружению опасности столкновений, а также проведён сравнительный анализ их точности и времени вычислений.

Ключевые слова: система управления движением судов, СУДС, прогнозирование, предотвращение, обнаружение, столкновения, c++.

**SELECTION AND IMPLEMENTATION OF AN ALGORITHM FOR
RECOGNITION OF THE HAZARD OF OBJECT COLLISION****Makarenko Sergey Sergeevich,**

Master's student of the Department of IUK5 "Information Processing Systems",
Kaluga branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman
the city of Kaluga
m.s.s-2001@mail.ru

Vershinin Evgeny Vladimirovich,

Head of the Department of Scientific and Technical Policy, Candidate of Physical and

Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of IUK5 "Information Processing Systems",
Kaluga branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman
the city of Kaluga
vershinin@bmstu.ru

ABSTRACT

This paper substantiates the importance of vessel traffic management systems (VTS), lists the main functions of VTS and identifies the problem of human factor influence during navigation. As a solution to the problem, a proposal is made for full automation of collision prevention in VTS. The stages of automation were outlined, the first of which is collision hazard recognition. Approaches to collision hazard detection were considered and implemented, and a comparative analysis of their accuracy and computation time was conducted.

Keywords: vessel traffic management system, VTS, prediction, prevention, detection, collisions, c++.

Введение

Рост транспортного потока морских и речных судов, увеличение их общей грузоподъемности, а также скорости их передвижения ведет к требованию повышения уровня надежности деятельности морских операторов и представителей береговой службы, обеспечивающей безопасность мореплавания. Каждый час простоя судна в условиях ограниченной видимости или в ожидании лоцмана из-за плохой или несвоевременной информации приносит значительные убытки как судовладельцу, так и целому ряду береговых организаций, вовлеченных в процесс обслуживания судна в порту [1]. Комплексный подход к осуществлению мероприятий по организации, регулированию и контролю за движением судов на базе соответствующих технических средств привел к созданию систем управления движением судов (СУДС), призванных обеспечить навигационную безопасность при максимально допустимой интенсивности движения, снизить аварийность и предупредить загрязнение водной среды, а также повысить технико-эксплуатационную эффективность работы флота и портов.

Согласно «Положению о системах управления движением судов» СУДС выполняет следующие функции: контроль за движением судов и за положением судов на якорных стоянках; передача судам навигационной, оперативной и иной информации; организация движения судов; оказание помощи в судовождении [2].

СУДС в своем составе содержит технические средства, программное обеспечение и человека оператора (группу операторов) [3]. Причиной снижения надёжности работы системы в наибольшей степени является человеческий фактор.

Снижение риска морских катастроф, обусловленного человеческим фактором путём автоматизации процесса.

Одной из наиболее важных функций СУДС является предотвращение морских катастроф, таких как столкновения судов со статическими и динамическими объектами и осадка на мель.

Для предотвращения столкновения необходимо:
распознать опасность столкновения;
определить приоритет объектов;

выработать корректировки скорости и курса судна или судов;
передать указания для исполнения.

На каждом приведённом выше этапе существует риск влияния человеческого фактора, основываясь на одинаковой информации операторы СУДС могут сделать неодинаковые выводы [4], что приведёт к трагедии.

Этого можно избежать путём полной автоматизации процесса, что и задало вектор исследованию.

Алгоритм распознавания потенциальных столкновений объектов.

Данная работа посвящена разработке и реализации алгоритма распознавания опасности столкновений объектов. Это первый и важнейший этап в предотвращении столкновений, алгоритм должен однозначно определять опасность. Его точность должна стремиться к 100%, так как даже одно не предсказанное столкновение может иметь катастрофические последствия, и при этом должны быть исключены ложные распознавания.

Для визуализации работы рассматриваемых алгоритмов был написан имитатор траекторий движения судов, в котором курсы кораблей обозначены пунктирными линиями, а координаты опасного сближения – красными точками (рис. 1). Приводимые в данной работе листинги написаны на языке C++ с использованием фреймворка Qt.

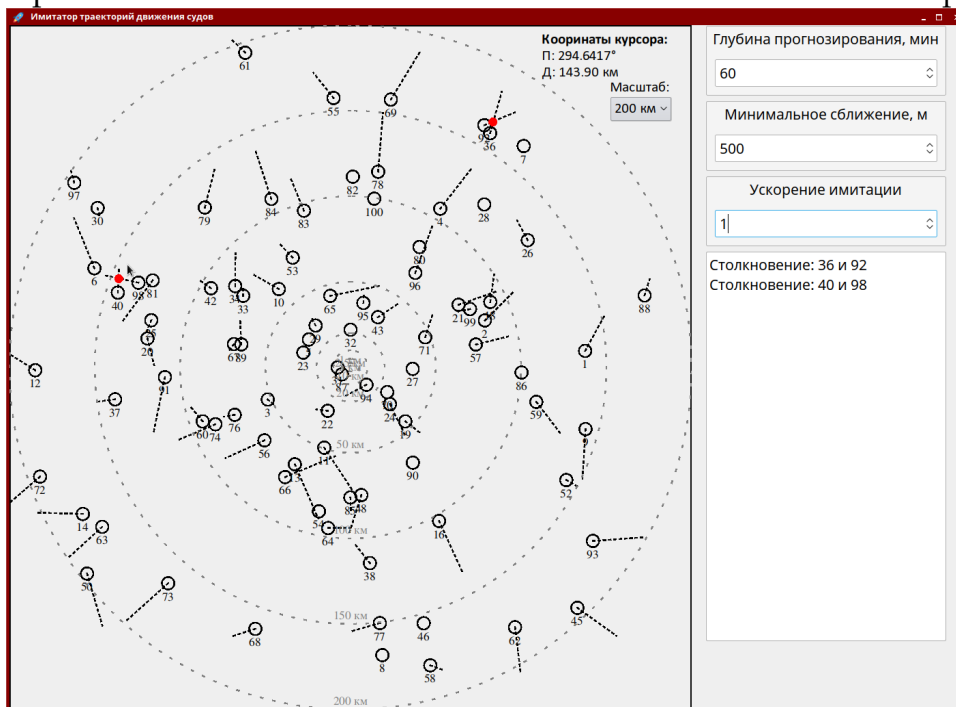


Рис. 1. Имитатор траекторий движения судов

Этапы разработки алгоритма

1 этап. Алгоритм определения пересечения курсов:

на вход подаются 2 объекта;

по начальным координатам и скоростям вычисляются вектора курсов;

вычисляется точка их пересечения.

В ходе анализа результатов работы алгоритма (рис. 2) было выявлено, что данный алгоритм рассчитывает пересечение векторов курсов и не контролирует время пересечения. В связи с этим за столкновение считается любое пересечение векторов (рис. 3) Таким образом, для прогнозирования столкновения необходимо добавить расчёт времени прибытия объектов в точку пересечения и контроль расстояния между объектами в этот момент.

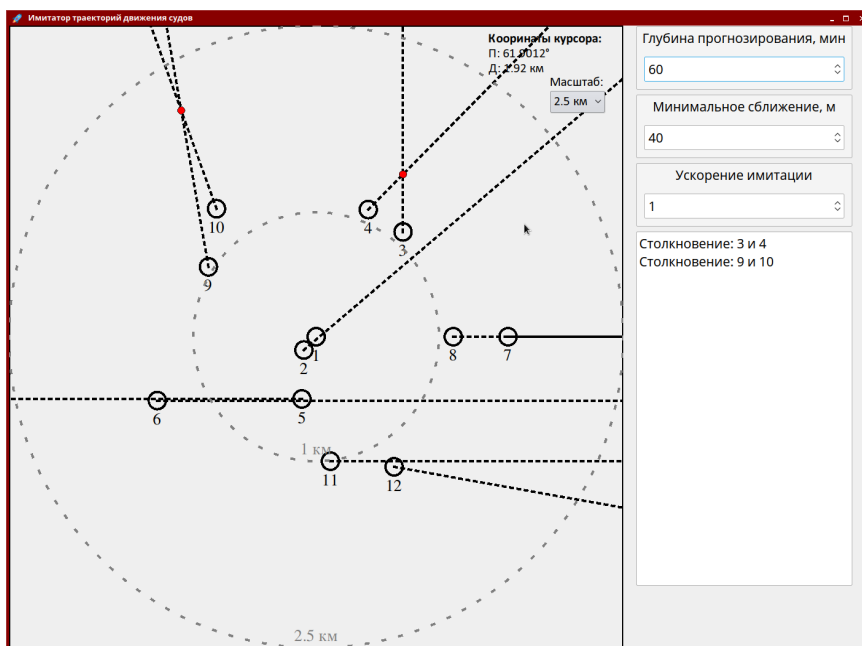


Рис. 2. Точки опасных сближений при использовании алгоритма пересечения курсов

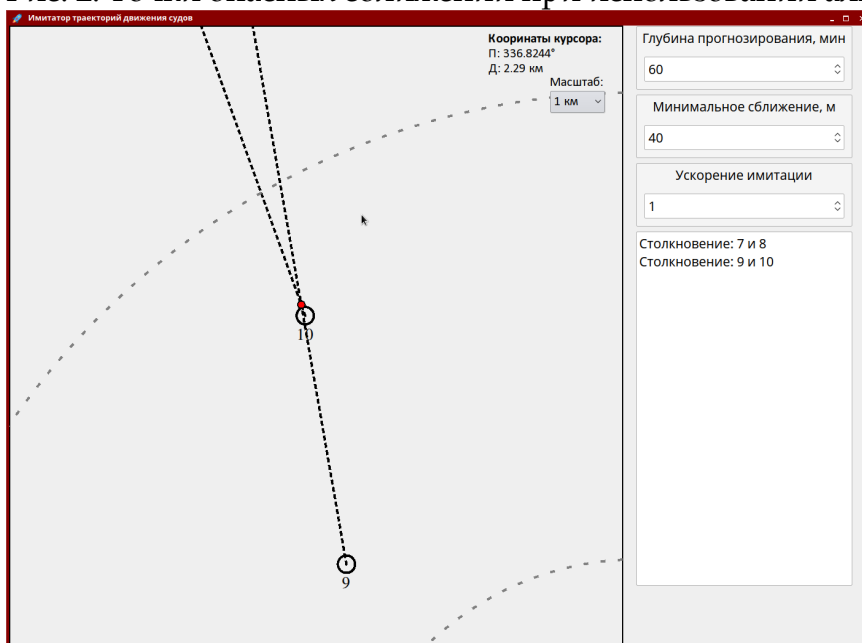


Рис. 3. Ложная точка опасного сближения при использовании алгоритма пересечения курсов

2 этап. Алгоритм определения пересечения курсов с учётом времени:

на вход подаются 2 объекта;

по начальным координатам и скоростям вычисляются вектора курсов;

вычисляется точка их пересечения;

вычисляется время достижения точки для одного объекта;

вычисляется положение второго объекта в этот момент времени и расстояние между двумя объектами.

Результат работы модернизированного алгоритма представлен на рисунке 4.

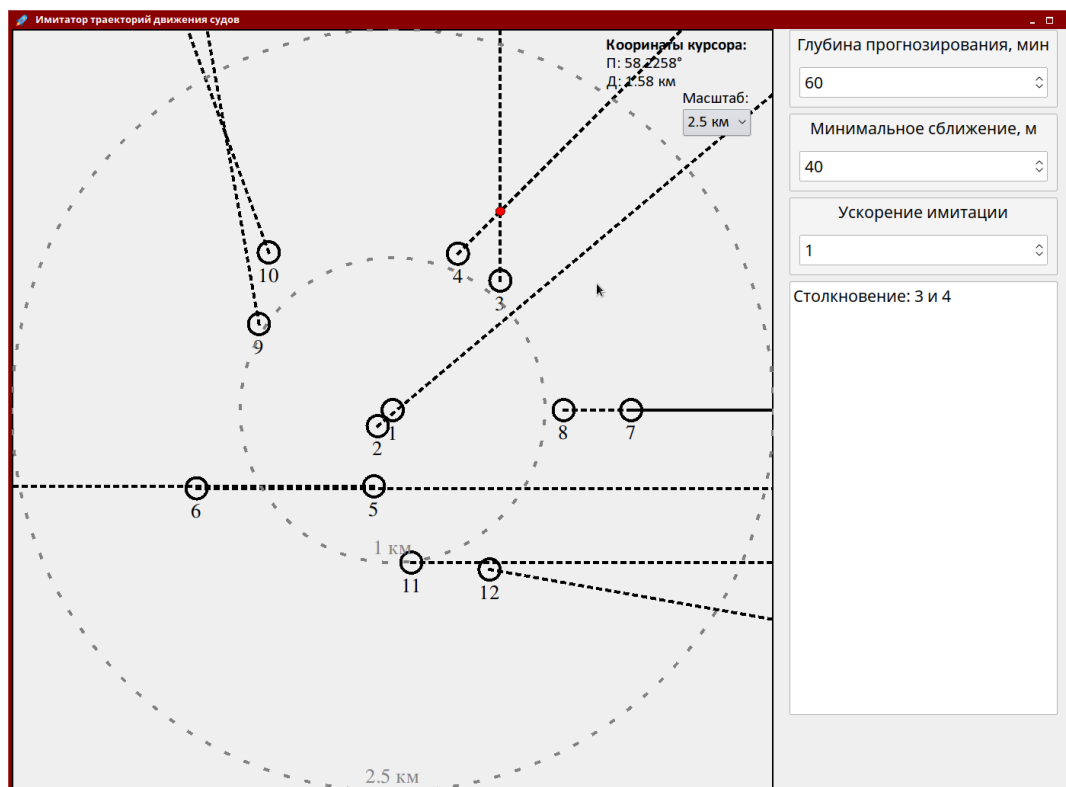


Рис. 4. Точки опасных сближений при использовании алгоритма пересечения курсов с учётом времени их достижения.

Однако у данного алгоритма были выявлены следующие недостатки:

При параллельных курсах вектора не пересекаются, и как следствие, не производится проверка столкновения, даже если расстояние между векторами крайне мало, и столкновение неминуемо.

У статичных объектов отсутствует вектор скорости, и как следствие, отсутствуют пересечения с векторами других объектов.

Заведомо не учитывается событие, которое может наступить при движении объектов друг за другом, так как точка сближения находится за вектором курса впереди идущего объекта.

В теории можно строить прямоугольник исходя из вектора скорости, глубины прогнозирования и дистанции безопасного сближения и анализировать принадлежность статичного объекта вычисленному прямоугольнику или пересечение двух прямоугольников для параллельных курсов, но был найден более рациональный алгоритм.

3 этап. Квадратное уравнение касания окружностей, где под окружностями понимается безопасная дистанция каждого объекта.

Основываясь на результатах анализа первых двух этапов разработки можно сделать вывод, что нужно привязывать расчёты не к пересечению векторов, а к скорости сближения объектов, разложенной на оси X и Y, и к дистанции между объектами по осям X и Y.

Для реализации нового алгоритма предлагается совершенно новый метод. Принцип этого метода может быть описан квадратным уравнением:

$$\left((\Delta V_x)^2 + (\Delta V_y)^2 \right) * t^2 + 2t * (\Delta x * \Delta V_x + \Delta y * \Delta V_y) + (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 - d^2 == 0,$$

где ΔV_x	-	скорость сближения объектов по оси X;
ΔV_y	-	скорость сближения объектов по оси Y;
Δx	-	дистанция между объектами по оси X;
Δy	-	дистанция между объектами по оси Y;
d	-	дистанция безопасного сближения объектов;
t	-	время до сближения на расстояние d .

Алгоритм выглядит следующим образом:

на вход подаются 2 объекта;

вычисляются ΔV_x , ΔV_y , Δx и Δy ;

вычисляются коэффициенты уравнения a , b и c ;

если $a = 0$ – объекты движутся параллельно и никогда не столкнутся;

вычисляем дискриминант;

если дискриминант < 0 – решений ур-ия нет и объекты не столкнутся;

вычисляется наименьшее время сближения;

если время в диапазоне от 0 до времени прогнозирования – объекты столкнутся.

Реализация алгоритма приведена в листинге 1. Данный алгоритм безошибочно распознаёт опасность столкновений для всех типов сближений объектов, а именно: сближение под углом, сближение при параллельных разнонаправленных и однонаправленных курсах, сближение со статическим объектом (рис. 5).

Листинг 1. Первоначальный код

```

QString IKO: crossTargetsV3(Target tar1, Target tar2) {
    double max_time = m_sudsDepth * 60;
    // Относительные координаты и скорости
    double dx = tar2.x - tar1.x;
    double dy = tar2.y - tar1.y;
    double dvx = tar2.vx - tar1.vx;
    double dvy = tar2.vy - tar1.vy;
    // Решаем квадратное уравнение  $at^2 + bt + c = 0$ 
    double a = dvx * dvx + dvy * dvy;
    double b = 2 * (dx * dvx + dy * dvy);
    double c = dx * dx + dy * dy - m_sudsDistance * m_sudsDistance;
    if (a == 0) // Движутся параллельно
        return "";

    double discriminant = b * b - 4 * a * c;
    if (discriminant < 0)
        return ""; // Нет решений

    // Берём меньшее время
    double time = (-b - sqrt(discriminant)) / (2 * a);
    // Проверяем, есть ли решение в интервале [0, max_time]
    if (time >= 0 && time <= max_time) {
        // Ищем точку встречи
        double x = (tar1.x + tar2.x + (tar1.vx + tar2.vx) * time) / 2;
        double y = (tar1.y + tar2.y + (tar1.vy + tar2.vy) * time) / 2;
        collisons.append({x, y});
        return QString("Столкновение: %1 и %2\n").arg(tar1.number).arg(tar2.number);
    }
    else
        return "";
}

```

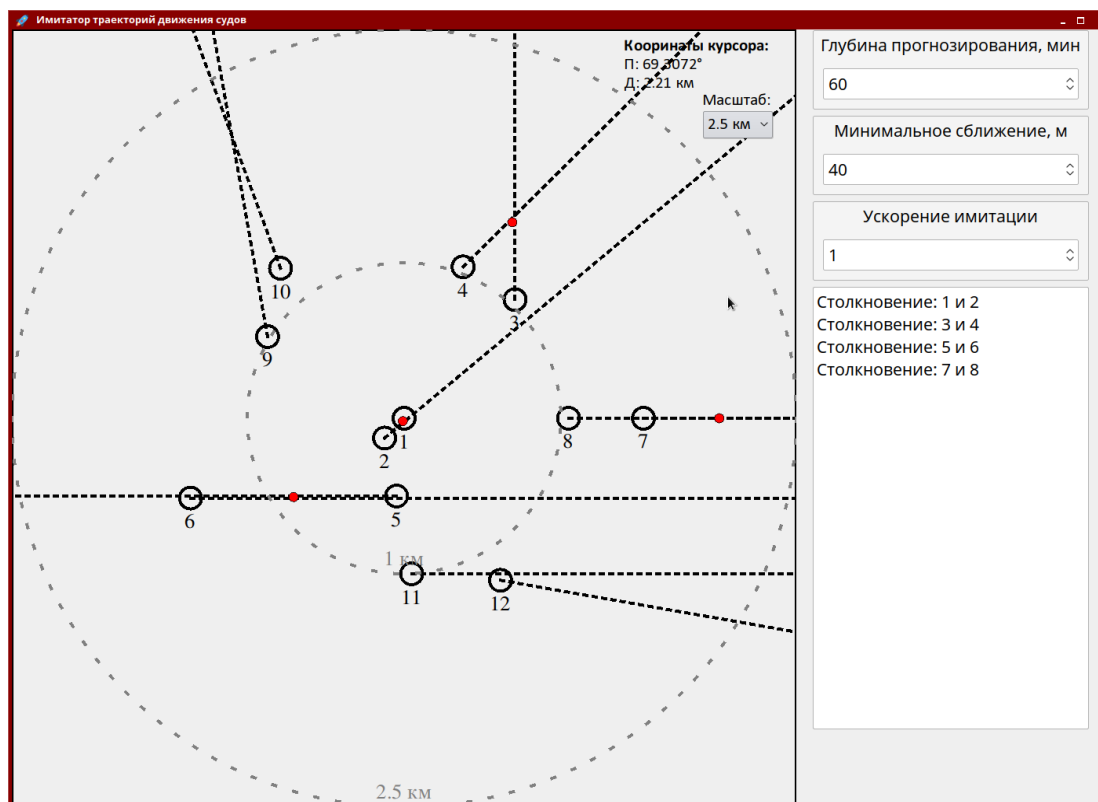


Рис. 5. Точки опасных сближений при использовании алгоритма пересечения курсов с учётом времени их достижения.

Кроме того, время нахождения точек опасного сближения через квадратное уравнение меньше чем через пересечение курсов. Сравнительные результаты затраченного времени расчётов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение быстродействия кода.

Кол-во объектов	Время расчётов через пересечение курсов, сек	Время расчётов через квадратное уравнение, сек
1000	0,0889	0,079
3000	0,81	0,72
5000	2,25	2,03
7000	4,43	3,95

Заключение

В ходе исследования были рассмотрены алгоритмы обнаружения опасности столкновений. По результатам проведенного тестирования были выявлены недостатки алгоритмов, разработанных на первых двух этапах, эти недостатки удалось полностью устранить на 3 этапе разработки, путём выбора иного подхода к вычислениям. Таким образом был разработан и программно реализован алгоритм, основанный на квадратном уравнении. Этот алгоритм полностью соответствует поставленным требованиям к точности распознавания, а также демонстрирует лучшее быстродействие.

Дальнейшим этапом полной автоматизации СУДС будет выработка корректировок скорости и курса для предотвращения столкновений согласно требованиям «Международных правил предупреждения столкновения судов в море, 1972 г.» [5].

Список литературы:

1. Афанасьев, Б. В. Взаимодействие оператора СУДС и судоводителя при проводке судна / Б. В. Афанасьев, А. В. Михневич // Транспортное дело России. – 2018. – № 3. – С. 106-107. – EDN XRCUHB.
2. Положение о системах управлением движением судов: положение: [утв. Минтрансом России 29 июля 2002 г.] // Министерство транспорта российской федерации. – 2002 – С. 7-9.
3. Тюфанова, А. А. Факторы, влияющие на эксплуатационную надежность технических средств системы управления движением судов / А. А. Тюфанова // Технические науки: проблемы и перспективы : Материалы III Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 20–23 июля 2015 года. – Санкт-Петербург: Свое издательство, 2015. – С. 74-77. – EDN UAPLWB.
4. Астреин, В. В. Системы предупреждения столкновения судов, тенденции развития (к 40-летию МППСС-72) / В. В. Астреин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2012. – № 1. – С. 7-17. – EDN OPZQTP.
5. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 г. (МППСС72). – 5е изд. – М.: Моркнига, 2011. – 142 с.

References:

1. Afanasyev, B. V. Interaction of the VTS operator and the navigator during vessel navigation / B. V. Afanasyev, A. V. Mikhnevich // Transport business of Russia. - 2018. - No. 3. - P. 106-107. - EDN XRCUHB.
2. Regulation on vessel traffic control systems: regulation: [approved. by the Ministry of Transport of Russia on July 29, 2002] // Ministry of Transport of the Russian Federation. - 2002 - P. 7-9.
3. Tyufanova, A. A. Factors influencing the operational reliability of technical means of the vessel traffic control system / A. A. Tyufanova // Engineering sciences: problems and prospects: Proceedings of the III International scientific conference, St. Petersburg, July 20-23, 2015. – Saint Petersburg: Svoe izdatelstvo, 2015. – P. 74-77. – EDN UAPLWB.
4. Astrein, V. V. Collision warning systems, development trends (for the 40th anniversary of COLREG-72) / V. V. Astrein // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology. – 2012. – No. 1. – P. 7-17. – EDN OPZQTP.
5. International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREG-72). – 5th ed. – M.: Morkniga, 2011. – 142 p.