

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690

USE OF AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM DATA FOR ESTIMATION OF MARINE TRAFFIC SAFETY

V. M. Grinyak¹, A. S. Devyatisilnyi², V. I. Lulko³

¹ — Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

² — Institute of Automation and Control Processes, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

³ — Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok, Russian Federation

This paper is about the problem of marine traffic safety. It is the key problem of vessels. In the areas with high intensity traffic marine safety is achieved with set of regulations, coastal and ship navigation systems, control services and COLREGS. Navigation rules for each water area usually has traffic movement instructions based on geographical features. There are wide variety of math methods available these days to solve navigation problems such as game theory methods, genetic algorithms, optimization methods. However, creating traffic patterns only based on math methods almost never possible due to wide variety of informal rules based on common and personal experience with consideration of natural condition such as season and weather. Often traffic pattern applied for given sea area based on expert analysis. One of the most important parameter of marine traffic safety is a frequency of collision. High values of collision frequency usually trigger deep analyses of traffic pattern with following its optimization. The prospective way to estimate this parameter is using data available from Automatic Identification System (AIS). The paper is focused on the problem of “ship-ship” collision occurrences estimation based on analyses of historical AIS data of ship traffic available at public internet resources. Even though publicly available data are limited to solve overall navigation problems there are still sufficient amount of information to solve navigation problems at certain sea areas.

The model is built around available AIS parameters like latitude, longitude, velocity, course, time of data arrival and age of the data. The “ship-ship” collision detection is solved for each ship pairs at the given area based on common navigation theory. Level of collision defined based on the closest point of approach (CPA) and ship physical sizes. By data accumulation for long period of time (day, week, month) and displaying them on the map it is possible to define location and frequency of danger CPA. Given model also taking in account the fact of the data discreteness. This work presents the results of real experiments at the areas of Tsugaru strait and Tokyo bay. The experiment results align with assumption that most frequent occurrence of danger situation are the port areas. However, with great total number of ships at the area the frequency of danger situations dramatically increasing.

The paper gives a conclusion that even though public available AIS data has limited update frequency they still can be used for solving navigation problems. Safety of traffic pattern estimation is possible based on analyses of numbers and localizations of danger CPA. Experiments using real data of ship traffic at sea areas show that the approach maybe prospective to analyses ship traffic pattern safety.

Keywords: vessel traffic control, collision avoidance, trace, closest point of approach, AIS.

For citation:

Grinyak, Victor M., Alexander S. Devyatisilnyi, and Victor I. Lulko. “Use of automatic identification system data for estimation of marine traffic safety.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.4 (2017): 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.

УДК 519.68:15:681.5

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ТРАФИКА МОРСКОЙ АКВАТОРИИ ПО ДАННЫМ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В. М. Гриняк¹ А. С. Девятисильный², В. И. Люлько³

¹ — Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация

² — Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,
Владивосток, Российская Федерация

³ — Владивостокский государственный университет экономики и сервиса,
Владивосток, Российская Федерация

Статья посвящена проблеме обеспечения навигационной безопасности движения на морских акваториях. Рассматривается задача оценки частоты наступления опасных ситуаций «судно – судно» на выбранном участке акватории на основе ретроспективного анализа движения судов. При этом предлагается обратиться к навигационным данным судов, предоставляемых Автоматической идентификационной системой (АИС) и доступных на открытых интернет-ресурсах. Частота наступления опасных ситуаций является важнейшим показателем, определяющим безопасность движения на акватории. Метрику опасности того или иного участка акватории предлагается ввести (как один из возможных вариантов) на основе числа и локализации точек кратчайшего сближения судов.

Проблемой при использовании данных АИС, предоставляемых открытыми интернет-ресурсами, является ограниченность точности определения навигационных параметров судов и частоты поступления информации. В работе рассмотрен формат представления исходных данных о движении и имеющиеся ограничения. Предлагается метод моделирования движения судов, основанный на приведении глобальных географических координат к местным прямоугольным и кусочно-линейной интерполяции. Это позволяет определить координаты каждой пары судов в момент кратчайшего сближения, что, в свою очередь, даёт возможность оценить степень опасности реализуемой схемы движения судов и необходимость экспертного анализа для выработки её менее опасных конфигураций.

Работа сопровождается результатами натурных исследований движения судов в Сангарском проливе и Токийском заливе, которые подтверждают перспективность предложенного подхода. Несмотря на «грубость» исходных данных, они несут достаточное количество информации для построения устойчивой картины опасных участков морских акваторий.

Ключевые слова: управление движением судов, опасное сближение, траектория движения, точка кратчайшего сближения, АИС.

Для цитирования:

Гриняк В. М. Оценка опасности трафика морской акватории по данным автоматической идентификационной системы / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, В. И. Люлько // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.

Введение

Навигационная безопасность движения является центральной проблемой эксплуатации водных транспортных путей. В зонах интенсивного судоходства она обеспечивается целым комплексом специальных мер и инструментов: береговыми и бортовыми навигационными системами, диспетчеризацией коллективного движения, правилами судоходства и т. д. Последние, в свою очередь, состоят из норм, определяемых Международными правилами предупреждения столкновений судов в море (МППСС-72) [1], и локальных положений, отражающих специфику движения на конкретной акватории.

Правила судоходства на конкретной акватории, как правило, предписывают соблюдение определённой схемы движения, зависящей от географии акватории и особенностей её трафика [2] – [4]. Нередко возможны различные варианты такой схемы; выбор в пользу того или иного из них обусловлен необходимостью обеспечения максимальной безопасности движения и практическими соображениями [5]. К настоящему времени выработан солидный арсенал математических методов для решения задач организации движения различного транспорта: например, методы теории игр [6], генетические алгоритмы [7], методы оптимизации [8] – [10] и др. Несмотря на это генерация актуальной схемы движения судов на конкретной акватории на основе сугубо математического формального представления задачи вряд ли возможна. Причина этого состоит в значительной доле неформальных положений, используемых в судоводительской практике [11] – [13], обусловленных личным и коллективным профессиональным опытом разрешения опасных навигационных ситуаций в различных внешних условиях (погода, время суток, менталитет и т. д.). В связи с этим схема движения судов определяется, как правило, на основе экспертного анализа различной информации об акватории [14] – [19].

Одним из важнейших показателей, определяющих навигационную безопасность движения на акватории, является частота наступления опасных ситуаций [20]. Её высокое значение служит побудительным мотивом тщательного изучения существующей схемы движения с целью последующего синтеза новой схемы, обеспечивающей лучшие показатели безопасности. Перспективным путём к оценке этого показателя или других свойств трафика акватории [21], [22] является использование данных АИС.

В настоящей работе рассматривается задача оценки частоты наступления опасных ситуаций «судно – судно» на основе анализа ретроспективных данных о движении судов, предоставляемых открытыми интернет-ресурсами — дополнительными сервисами АИС. Эти исходные данные имеют свои особенности, определяющие возможности и ограничения их использования при решении практических и исследовательских задач [23]. В частности, в них ограничена точность определения навигационных параметров судов и частота поступления информации. Тем не менее имеющиеся данные вполне позволяют оценить некоторые особенности трафика наблюдаемых акваторий и в частности получить представление о тех их участках, где требуется усиление контроля со стороны береговых систем управления движением судов и / или модернизация существующей схемы движения.

Методы и материалы

Рассмотрим основные модельные представления задачи. Данные о движении судов, доступные на открытых интернет-ресурсах типа [24], представляют собой множество кортежей вида

$$\{SID, LAT, LON, V, K, TIME, AGE\}, \quad (1)$$

где *SID* — идентификатор судна; *LAT* — географическая широта; *LON* — географическая долгота; *V* — скорость движения; *K* — курс; *TIME* — время поступления данных; *AGE* — возраст данных, определяющий фактический момент времени, которому они соответствуют. Кроме того, доступна дополнительная информация о каждом судне: тип, флаг, порт назначения и др.

Характерная точность представления географических координат судна — три-четыре знака после запятой, что соответствует погрешности 10 – 100 м на местности. Точность представления скорости — 0,1 уз, точность представления курса — 1 град. Данные обновляются один раз в 60 с (дискретность параметра — *TIME*), при этом фактическое обновление данных (задаётся параметром *AGE*) происходит, как правило, ещё реже: для интенсивно маневрирующих судов в акватории морских портов данные обновляются раз в 1 – 3 мин, для судов, движущихся прямолинейно и равномерно по морским трассам, возраст данных может достигать нескольких часов.

В том случае, если требуется осуществлять моделирование движения судна по конкретной локальной акватории, характерные размеры которых обычно не превышают сотни километров, целесообразно перейти от географических координат судна к местным прямоугольным, преобразовав их по правилу:

$$\begin{aligned} x &= R \cos(LAT) \sin(LON - LON^*); \\ y &= R \sin(LAT - LAT^*), \end{aligned}$$

где *R* — средний радиус Земли при представлении её сферой; *LAT** и *LON** — соответственно широта и долгота точки, принимаемой за начало местной прямоугольной системы координат.

В силу локальности задачи погрешности, обусловленные представлением Земли сферой, а не эллипсоидом или геоидом, будут несущественными. Рассмотрим задачу «судно – судно» для каждой пары судов, находящихся на акватории. Будем иметь следующие уравнения движения судов:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= x_1(t_1^0) + V_1 \sin(K_1)(t - t_1^0); \\ y_1(t) &= y_1(t_1^0) + V_1 \cos(K_1)(t - t_1^0); \\ x_2(t) &= x_2(t_2^0) + V_2 \sin(K_2)(t - t_2^0); \end{aligned}$$

$$y_2(t) = y_2(t_2^0) + V_2 \cos(K_2)(t - t_2^0),$$

где $x_1(t)$, $y_1(t)$, $x_2(t)$, $y_2(t)$ — координаты первого и второго судна в момент времени t ; V_1 , K_1 , V_2 , K_2 — соответственно скорости и курсы первого и второго судна; t_1^0 , t_2^0 — моменты времени, соответствующие возрасту данных каждого судна, так что $t_i^0 = TIME_i - AGE_i$.

При таких представлениях расстояние между судами в момент времени t составляет

$$r(t) = \sqrt{(x_1(t) - x_2(t))^2 + (y_1(t) - y_2(t))^2}.$$

Решая уравнение $dr(t)/dt = 0$ относительно t , будем иметь момент времени кратчайшего сближения судов t_{CPA} , соответствующую ему величину $r_{CPA} = r(t_{CPA})$ и координаты судов $x_1(t_{CPA})$, $y_1(t_{CPA})$, $x_2(t_{CPA})$, $y_2(t_{CPA})$.

Величина r_{CPA} , соотнесённая с геометрическими размерами судов, характеризует степень опасности ситуации в момент кратчайшего сближения, величина t_{CPA} и координаты судов — время и место её предполагаемого возникновения. Обработывая наборы данных о движении судов за большой период времени (сутки, неделя, месяц) и отображая их на карте, можно получить представление о частоте опасных сближений и локализации точек кратчайшего сближения, соответствующих «опасным» значениям — r_{CPA} . Полученная таким образом информация может быть использована при экспертном анализе трафика конкретной морской акватории.

Данные о состоянии судов в момент кратчайшего сближения, получаемые описанным способом, характеризуются множественностью, т. е. для каждой пары судов будем иметь различные наборы данных:

$$\{r_{CPA}, t_{CPA}, x_1(t_{CPA}), y_1(t_{CPA}), x_2(t_{CPA}), y_2(t_{CPA})\}, \quad (2)$$

получаемые на основе множества (1) при различных значениях $TIME$. Оцененное время до момента кратчайшего сближения, равное $t_{CPA} - TIME$ (интерес представляют только положительные его значения, т. е. «будущее»), может быть существенно больше периода обновления данных (дискретность параметра $TIME$). В этом случае из множества наборов данных (2), соответствующих нескольким «предполагаемым» точкам кратчайшего сближения, выбирается тот, которому соответствует минимальное положительное время до наступления события $t_{CPA} - TIME$ как наиболее достоверный.

Указанная разреженность исходных навигационных данных, предоставляемых ресурсами типа [24], и их относительная «грубость» могут быть серьёзным барьером для их практического использования. Вместе с тем при решении рассматриваемой задачи оценки частоты наступления опасных ситуаций на том или ином участке акватории они вполне способны дать устойчивую картину явления, что подтверждается проведёнными экспериментами.

Результаты

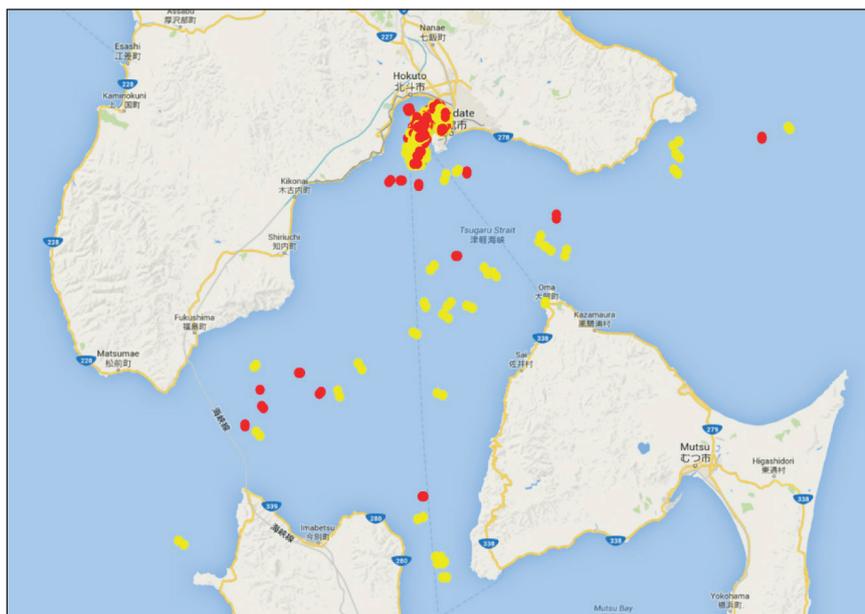
Исследования проводились на основе данных о движении судов, полученных с ресурса [24] с помощью специально созданной программной системы [25]. Было принято, что достоверными являются лишь те точки кратчайшего сближения, оценённое время движения до которых $t_{CPA} - TIME$, положительно (т. е. «будущее») и не превышает 5 мин.

На рис. 1, а показаны точки кратчайшего сближения судов, движущихся в Сангарском проливе. Красными кружками обозначены координаты судов, сблизившихся на расстояние меньше двух длин корпуса судна, жёлтыми — меньше пяти длин корпуса. Рисунок построен по данным, собранным в течение одной недели летом 2016 г. Как и ожидалось, наибольшее количество опасных сближений наблюдается непосредственно в портовых водах (порт Хакодате), в контексте обсуждаемой задачи они не представляют интереса.

Сангарский пролив интересен особенностями трафика, в нем ярко выражены пересекающиеся судопотоки в направлениях «север – юг» и «запад – восток» [26]. Несмотря на довольно высокую интенсивность движения (в проливе находится одновременно около 100 судов), частота

их опасных сближений низкая (около двух «красных» ситуаций в сутки), при этом соответствующие точки не образуют устойчивых зон. Такое движение вполне поддаётся регулированию существующими средствами. На рис. 1, б показаны точки кратчайшего сближения судов, движущихся в Токийском заливе. Рис. 1 построен по данным, собранным в течение одних суток летом 2016 г., в заливе при этом одновременно находилось около 700 судов. Такая плотность движения обуславливает высокое количество опасных сближений, соответствующие точки густо разбросаны по всему заливу (не только в портовых водах).

а)



б)

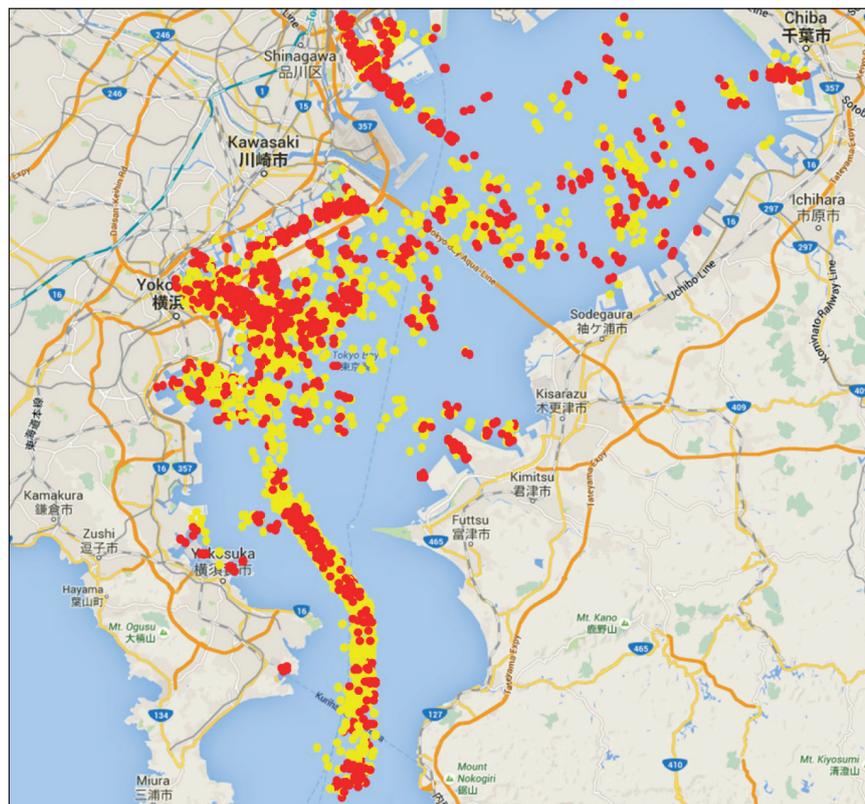


Рис. 1. Точки кратчайшего сближения судов в Сангарском проливе (а) и Токийском заливе (б)

На рис. 2 показаны соответствующие данным рис. 1, б средние частоты наступления «красных» опасных ситуаций на том или ином участке акватории Токийского залива. Чаще всего опасные ситуации наблюдаются у западного берега залива, самая высокая частота наблюдается в портовых водах Иокогамы. Для обсуждаемой задачи представляют интерес подходы к порту Иокогама (синяя область и голубые пятна восточнее порта), где средние частоты опасных сближений достигают четырех – шести случаев в час и зона фарватера находится у устья залива близ Йокосуки (три синих овала), где средние частоты опасных сближений составляют два – четыре случая в час, а в отдельные промежутки времени их количество может быть и больше. Это свидетельствует о высокой нагрузке операторов береговой системы управления движением судов, отвечающих за этот участок акватории, вынужденных «отрабатывать» несколько опасных ситуаций одновременно. Судоводители, чьи суда находятся здесь, *должны уделять повышенное внимание окружающей обстановке и быть предельно осторожными*. Для регулирующих служб это может служить сигналом о необходимости изменения правил движения на указанных участках акватории.

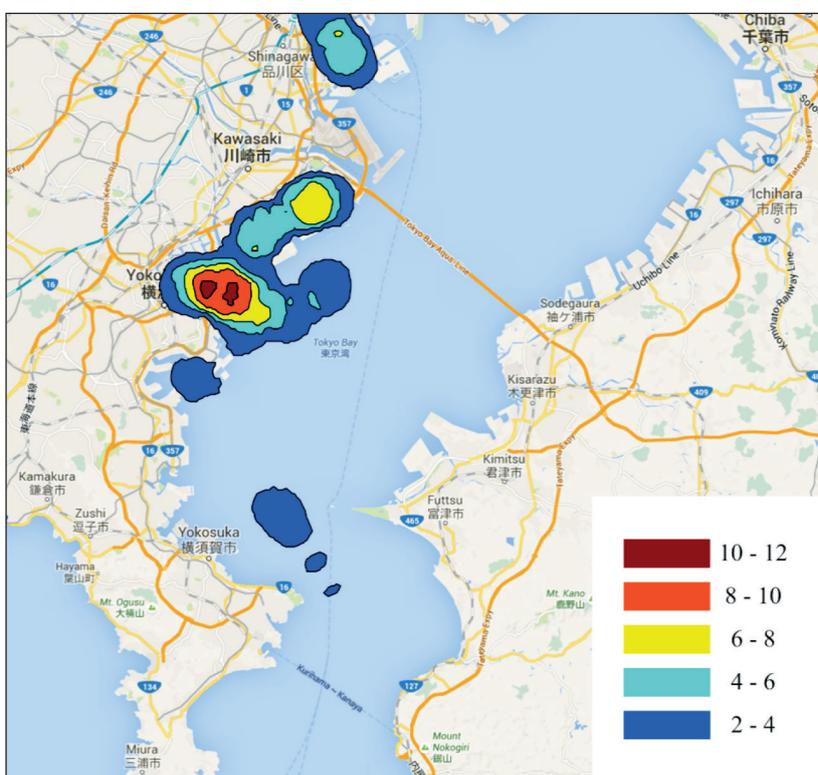


Рис. 2. Средняя частота опасных сближений судов в Токийском заливе (ситуаций в час)

Обсуждение

Полученные результаты позволяют сформировать систематизированное представление о степени опасности движения на различных участках морских акваторий. Вообще, такая оценка возможна на основе различных метрик. Так, в работе [21] авторы используют модель относительного движения двух судов и выделяют точки акватории, в которых движение распознано как потенциально опасное, т. е. ведущее к чрезмерному сближению. Это соответствует тем положениям судов, где бортовые (или береговые) системы предупреждения столкновений подают тревожный сигнал. Таким образом, оценивается опасность движения с точки зрения эмоциональной нагрузки на судоводителей. При этом используются «первичные» данные АИС, имеющие высокую точность навигационных параметров и частоту обновления. В настоящей работе показана возможность использования для решения рассматриваемой задачи и «разреженных» ретроспективных данных, доступных широкому кругу специалистов.

В работе [22] в качестве показателя степени загруженности акватории предлагается использовать плотность движения судов. Вместе с тем такой подход даёт лишь очень приблизительное представление о степени опасности. Например, в условиях высокой плотности движения по выделенным регулируемым фарватерам трафик может быть сравнительно безопасным, в то же время даже низкая плотность движения в условиях нерегулируемых хаотично пересекающихся судопотоков может провоцировать большое число опасных ситуаций. С этой точки зрения метрика, основанная на оценке частоты опасных сближений, гораздо более информативна.

Выводы

1. Данные о движении судов на морских акваториях, предоставляемые АИС, характеризуются высокой точностью и информативностью, что обуславливает их массовое использование при решении различных прикладных задач. Однако такие первичные данные, как правило, недоступны для исследовательских коллективов, не связанных с производственной отраслевой средой. При проведении научных исследований альтернативой может выступать использование данных, предоставляемых специализированными открытыми интернет-ресурсами. Несмотря на невысокую частоту обновления и низкую точность предоставления информации о движении судов такими источниками, они могут быть использованы для изучения особенностей трафика морских акваторий. При этом актуальными являются различные варианты интерполяции данных о движении (например, кусочно-линейная интерполяция).

2. Оценка степени опасности трафика возможна на основе анализа числа и локализации точек кратчайшего сближения судов. По сути, таким образом неявно вводится метрика, определяющая опасность того или иного участка акватории. Разумеется, возможны и другие метрики, характеризующие те или иные стороны (интерпретации) понятия «опасная ситуация» [27].

3. Проведённые исследования на основе реальных данных о движении судов подтвердили перспективность применения предложенного подхода. Несмотря на грубость исходных данных, они несут достаточно информации для сводного представления характера движения на акватории. Например, на основе предложенного способа можно выстроить устойчивую картину опасных участков акваторий и определить эмоциональную нагрузку на операторов береговых систем управления движением и судоводителей. Это представляет большую ценность для служб, реализующих мероприятия по обеспечению безопасности движения, открывая перспективную возможность оценки степени опасности схемы движения, реализуемой на акватории, и выработки рекомендаций по её изменению в сторону менее опасных конфигураций.

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект 15-08-00234 «Моделирование интеллектуальной системы поддержки принятия решений при обеспечении навигационной безопасности коллективного движения судов на морских акваториях».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 (МППСС- 72). — М.: РКонсульт, 2004. — 80 с.
2. *Погосов С. Г.* Безопасность плавания в портовых водах / С. Г. Погосов. — М.: Транспорт, 1977. — 136 с.
3. *Лентарёв А. А.* Морские районы систем обеспечения безопасности мореплавания / А. А. Лентарёв. — Владивосток: Изд-во ГМУ им. адм. Г. И. Невельского, 2004. — 120 с.
4. *Лентарёв А. А.* Применение судовой навигационной аппаратуры для определения статистических характеристик судопотоков / А. А. Лентарёв, М. О. Максимов // Транспортное дело России. — 2015. — № 6. — С. 156–158.
5. *Лебедева М. П.* Методика оценки безопасного движения судов в стесненной акватории / М. П. Лебедева, С. Д. Айзинов, А. О. Лебедев // Вестник Государственного университета морского и речного флота

имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 111–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-111-120.

6. Александров В. А. Аппаратно-программный комплекс для моделирования задач группового управления мобильными роботами / В. А. Александров, А. И. Кобрин // Вестник МЭИ. — 2011. — № 3. — С. 88–95.

7. Каляев И. А. Методы и модели коллективного управления в группах роботов. / И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян. — М.: Физматлит, 2009. — 280 с.

8. Zeng Z. A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles / Z. Zeng, L. Lian, K. Sammut, F. He, Y. Tang, A. Lammas // Ocean Engineering. — 2015. — Vol. 110. — Part A. — Pp. 303–313. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.10.007.

9. Кирсанов М. Н. Анализ алгоритмов выбора оптимальных маршрутов группы судов / М. Н. Кирсанов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 2 (36). — С. 183–190. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-183-190.

10. Lazarowska A. Ship's trajectory planning for collision avoidance at sea based on ant colony optimisation / A. Lazarowska // Journal of Navigation. — 2015. — Vol. 68. — Is. 2. — Pp. 291–307. DOI: 10.1017/S0373463314000708.

11. Студеникин Д. Е. Применение систем принятия решений для выбора параметров маневра судна / Д. Е. Студеникин, А. А. Григорян, Н. А. Маковецкая // Эксплуатация морского транспорта. — 2015. — № 4. — С. 58–62.

12. Мироненко А. А. Модель программного движения судна в стесненных водах / А. А. Мироненко // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2013. — № 2. — С. 65–70.

13. Tam Ch. K. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters / Ch. K. Tam, R. Bucknall, A. Greig // Journal of Navigation. — 2009. — Vol. 62. — Is. 3. — Pp. 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.

14. Ключев В. В. Использование теории геометрических вероятностей для оценки показателя стесненности акватории северного морского пути / В. В. Ключев // Навигация и гидрография. — 2016. — № 46. — С. 20–28.

15. Пламмер К. Дж. Маневрирование судов в узкостях / К. Дж. Пламмер. — Л.: Судостроение, 1986. — 80 с.

16. Лобанов А. А. Методические аспекты проектных работ по обеспечению навигационной безопасности плавания в современных условиях / А. А. Лобанов, Ю. В. Румянцев, Д. М. Бухов // Навигация и гидрография. — 2013. — № 35. — С. 29–38.

17. Общие положения об установлении путей движения судов, № 9036. — ГУНиО МО СССР, 1987. — 32 с.

18. Таратынов В. В. Целесообразность разделения морских путей / В. В. Таратынов // Морской флот. — 1969. — № 9. — С. 19–20.

19. Таратынов В. П. Судовождение в стесненных районах / В. П. Таратынов. — М.: Транспорт, 1980. — 128 с.

20. Бродский П. Г. К вопросу оценки влияния интенсивности судоходства на аварийность / П. Г. Бродский, Ю. В. Румянцев, С. Н. Некрасов // Навигация и гидрография. — 2010. — № 30. — С. 36–42.

21. Weng J. Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study / J. Weng, S. Xue // Journal of Navigation. — 2015. — Vol. 68. — Is. 3. — Pp. 602–618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.

22. Wu L. Mapping global shipping density from AIS data / L. Wu, Y. Xu, Q. Wang, F. Wang, Zh. Xu // Journal of Navigation. — 2016. — Vol. 70. — Is. 1. — Pp. 67–81. DOI: 10.1017/S0373463316000345.

23. Сметанин С. И. Способ реализации программной веб-части системы спутникового мониторинга / С. И. Сметанин, В. А. Игнатюк, А. А. Евстифеев // Информационные технологии. — 2015. — Т. 21. — № 6. — С. 448–455.

24. MarineTraffic [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.marinetraffic.com> (дата обращения: 01.06.17).

25. Головченко Б. С. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории / Б. С. Головченко, В. М. Гриняк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 2 (24). — С. 156–162.

26. Гриняк В. М. О планировании вычислительных экспериментов при исследовании методов обеспечения безопасности коллективного движения судов / В. М. Гриняк, А. С. Аникеева, Н. Ю. Васильченко, Е. Г. Гусев // Современные наукоемкие технологии. — 2016. — № 4-2. — С. 230–234.

27. Гриняк В. М. Оценка и представление параметров безопасного движения судна / В. М. Гриняк, М. В. Трофимов, В. И. Люлько // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 4 (38). — С. 51–61. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-51-61.

REFERENCES

1. International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972 (COLREGs-72). M: RKonsul't, 2004.
2. Pogosov, S.G. *Bezopasnost plavaniya v portovyh vodah*. M: Transport, 1977.
3. Lentarev, A.A. *Morskie raiony system obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya*. Vladivostok: GMU im. Nevel'skogo, 2004.
4. Lentarev, A., and M. Maksimov. "Using navigation equipment to determine the vessel traffic statistics." *Transportnoye delo Rossii* 6 (2015): 156–158.
5. Lebedeva, Marina P., Sergei D. Aizinov, and Aleksei O. Lebedev. "Technique of assessment of the safe navigation in the «constrained» water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.1 (2017): 111–120. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-111-120.
6. Alexandrov, V. A., and A. I. Kobrin. "The hardware-software complex for modeling of grouped control problems for mobile robots." *MPEI Vestnik* 3 (2011): 88–95.
7. Kaljaev, I. A., A. R. Gajduk, and S. G. Kapustjan. *Modeli i algoritmy kolektivnogo upravleniya v gruppah robotov*. M: Fizmatlit, 2009.
8. Zeng, Z., L. Lian, K. Sammut, F. He, Y. Tang, and A. Lammas. "A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles." *Ocean Engineering* 110(A) (2015): 303–313. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.10.007.
9. Kirsanov, Mihail Nikolaevich. "Analysis of algorithms for the selection of optimal routes the group's vessels." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 2(36) (2016): 183–190. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-183-190.
10. Lazarowska, A. "Ship's trajectory planning for collision avoidance at sea based on ant colony optimization." *Journal of Navigation* 68.2 (2015): 291–307. DOI: 10.1017/S0373463314000708.
11. Studenikin, D., A. Grigoryan, and N. Makovetskaya. "The use of decision support systems for choosing parameters of vessel's maneuvering." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4 (2015): 58–62.
12. Mironenko, A. "Vessel's program motion model in restricted waters." *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* 2 (2013): 65–70.
13. Tam, Ch. K., R. Bucknall, and A. Greig. "Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters." *Journal of Navigation* 62.3 (2009): 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
14. Klyuev, V.V. "Ispol'zovanie teorii geometricheskikh veroyatnostei dlya otsenki pokazatelya stesnennosti akvatorii severnogo morskogo puti." *Navigatsiya i gidrografiya* 46 (2016): 20–28.
15. Plammer, K. J. *Manevrirovaniye sudov v uzkostyakh*. L: Sudostroyeniye, 1986.
16. Lobanov, A. A., Yu. V. Rummyantsev, and D. M. Bukhov. "Metodicheskie aspekty proektnykh rabot po obespecheniyu navigatsionnoi bezopasnosti plavaniya v sovremennykh usloviyakh." *Navigatsiya i gidrografiya* 35 (2013): 29–38.
17. *Obshchiye polozheniya ob ustanovlenii putey dvizheniya sudov*. № 9036. MO SSSR, 1987.
18. Taratynov, V. V. "Tselesoobraznost' razdeleniya morskikh putei." *Morskoi flot* 9 (1969): 19–20.
19. Taratynov, V. P. *Sudovozhdeniye v stesnennykh rayonah*. M: Transport, 1980.
20. Brodskii, P. G., Yu. V. Rummyantsev, and S. N. Nekrasov. "K voprosu otsenki vliyaniya intensivnosti sudokhodstva na avariynost'." *Navigatsiya i gidrografiya* 30 (2010): 36–42.
21. Weng, J., and S. Xue. "Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study." *Journal of Navigation* 68.3 (2015): 602–618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.
22. Wu, L. Y. Xu, Q. Wang, F. Wang, and Zh. Xu. "Mapping global shipping density from AIS data." *Journal of Navigation* 70.1 (2016): 67–81. DOI: 10.1017/S0373463316000345.
23. Smetanin, S. I., V. A. Ignatyuk, and A. A. Evstifeev. "Implementation of the software part of the system of satellite monitoring." *Information technologies* 21.6 (2015): 448–455.
24. MarineTraffic. Web. 1 Jun. 2017 <<http://www.marinetraffic.com>>.
25. Golovchenko, B.S., and V.M. Grinyak. "Information system for vessels traffic data capture." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(24) (2014): 156–162.

26. Grinyak, V. M., A. S. Anikeeva, N. Yu. Vasilchenko, and E. G. Gusev. "On numerical experiments for ship collision avoidance methods research." *Modern high technologies* 4-2 (2016): 230–234.

27. Grinyak, Victor Mihajlovich, Maxim Valerevich Trofimov, and Victor Ivanovich Lulko. "Data visualization of ship collision avoidance system." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 4(38) (2016): 51–61. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-51-61.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гриняк Виктор Михайлович —

кандидат технических наук, доцент

Дальневосточный федеральный университет
690950, Российская Федерация, Владивосток,
ул. Суханова, 8

e-mail: victor.grinyak@gmail.com

Девятисильный Александр Сергеевич —

доктор технических наук

Институт автоматизации и процессов управления
ДВО РАН,
690041, Российская Федерация, Владивосток,
ул. Радио, 5

e-mail: devyatis@iacp.dvo.ru

Люлько Виктор Иванович —

старший преподаватель

Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса,
690014, Российская Федерация, Владивосток,
ул. Гоголя, 41

e-mail: viktor.lulko@vvsu.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Grinyak, Victor M. —

PhD, associate professor

Far Eastern Federal University
8 Suhanova Str., Vladivostok, 690950,
Russian Federation

e-mail: victor.grinyak@gmail.com

Devyatisilnyi, Alexander S. —

Dr. of Technical Sciences

Institute of Automation and Control Processes, Far
Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
5 Radio Str., Vladivostok, 690041,
Russian Federation

e-mail: devyatis@iacp.dvo.ru

Lulko, Victor I. —

Senior Lecturer

Vladivostok State University of Economics
and Service
41 Gogolya Str., Vladivostok, 690014,
Russian Federation

e-mail: devyatis@iacp.dvo.ru

Статья поступила в редакцию 13 июня 2017 г.

Received: June 13, 2017.