

УДК 519.68:15:681.5

В.М. Гриняк, Ю.С. Иваненко
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ АИС ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ
КОЛЛЕКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МОРСКОЙ АКВАТОРИИ**

*Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
Дальневосточный федеральный университет*

Статья посвящена проблеме навигационной безопасности движения морских судов. Рассматривается задача определения степени опасности схемы движения, реализуемой на конкретной акватории. При этом предлагается обратиться к навигационным данным, предоставляемым Автоматической идентификационной системой (АИС) и доступным на открытых Интернет-ресурсах. В качестве метрики, характеризующей безопасность движения, используется частота чрезмерных сближений судов. Она определяется на основе оценки количества и локализации точек кратчайшего сближения. Проблемой при использовании данных АИС, предоставляемых открытыми Интернет-ресурсами, является существенное ограничение точности определения навигационных параметров судов и частоты поступления информации. В работе рассмотрен формат представления исходных данных о движении и имеющиеся ограничения. Показано, что несмотря на ограничения имеется возможность построения устойчивой картины опасных участков акватории. Работа сопровождается результатами натурных исследований: приведены результаты оценки опасности движения судов в Сангарском проливе, водах, прилегающих к порту Пусан и водах Внутреннего Японского моря.

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

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.п. 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 обеспечить максимальную безопасность движения и практическими соображениями [5].

К настоящему времени наработан богатый 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 чисто математического формального представления задачи вряд ли возможна. Причина этого - значительная доля 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.п.). 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 является 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 Автоматической идентификационной системы (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, частота поступления информации. Тем не менее, имеющиеся данные вполне позволяют оценить некоторые особенности трафика наблюдаемых акваторий. 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.

Материалы и методы. 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 – 3-4 знака после запятой, что соответствует погрешности 10-100 метров на местности. Точность представления скорости – 0.1 узел, точность представления курса – 1 градус (реальная погрешность скорости и курса, по-видимому, существенно выше). Данные обновляются 1 раз в 60 секунд (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 минуты, 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:

$$x = R \cos(LAT) \sin(LON - LON^*),$$

$$y = R \sin(LAT - LAT^*),$$

где R – средний радиус Земли при представлении её сферой, LAT^* и LON^* – 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. \ddot{e}

Рассмотрим задачу «судно-судно» для каждой пары судов, находящихся на акватории. Будем иметь следующие уравнения движения судов:

$$x_1(t) = x_1(t_1^0) + V_1 \sin(K_1)(t - t_1^0),$$

$$y_1(t) = y_1(t_1^0) + V_1 \cos(K_1)(t - t_1^0),$$

$$x_2(t) = x_2(t_2^0) + V_2 \sin(K_2)(t - t_2^0),$$

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

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 – 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 будет равно

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

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, то есть 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 (1) при различных значениях $TIME$. Оцененное время до момента кратчайшего сближения (равное $t_{CPA} - TIME$, интерес представляют только положительные значения, то есть «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 набор (2), 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 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 (то есть «будущее») и не превышает 5 минут.

На Рисунке 1 показаны точки кратчайшего сближения судов, движущихся в Сангарском проливе. Красными кружками обозначены координаты судов, сблизившихся на расстояние меньше двух длин корпусов судна, жёлтыми – меньше пяти длин корпусов. Рисунок построен по данным, собранным в течение одной недели летом 2016 года. 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 низка (около двух «красных» ситуаций в сутки), при этом соответствующие точки не образуют устойчивых зон. Такое движение вполне поддаётся регулированию существующими средствами.

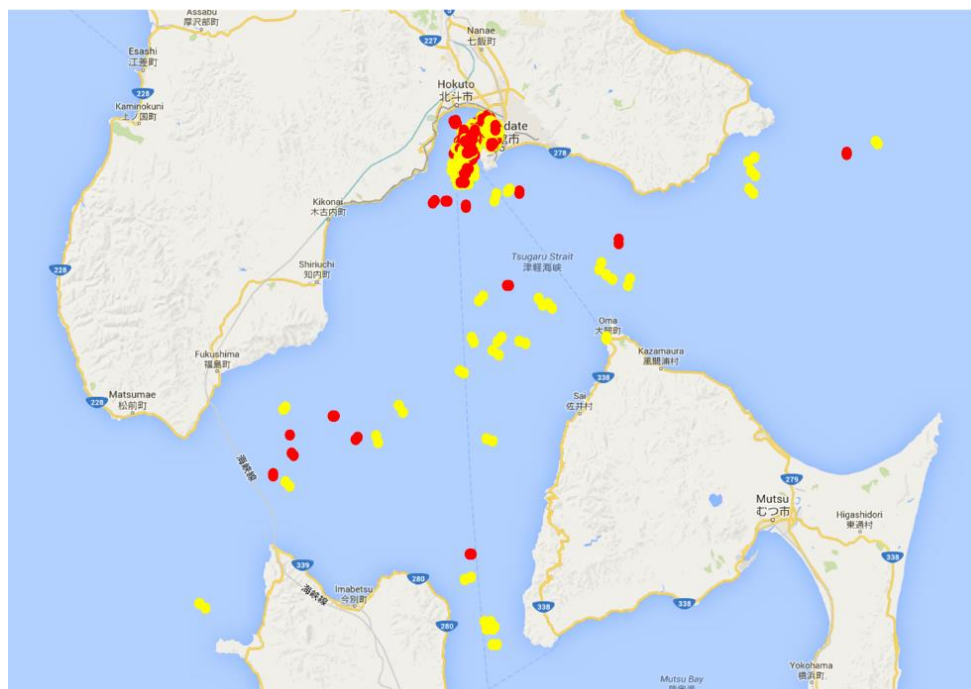


Рисунок 1 - Точки кратчайшего сближения судов (Сангарский пролив)

На Рисунке 2 показаны точки кратчайшего сближения судов, движущихся в акватории, прилегающей к порту Пусан. Отражены данные, собранные в течение одних суток летом 2016 года, в наблюдаемой зоне при этом одновременно находилось около 1200 судов. Такая плотность движения обуславливает высокое количество опасных сближений, соответствующие точки густо разбросаны на путях подхода к порту (не только непосредственно в портовых водах).

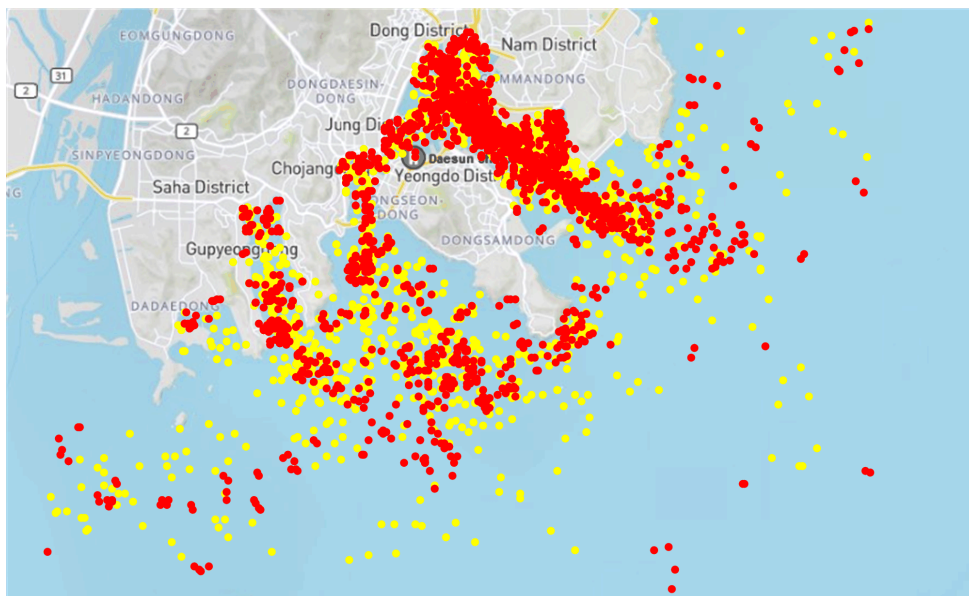


Рисунок 2 - Точки кратчайшего сближения судов (Пусан)

На Рисунке 3 показаны, соответствующие данным Рисунка 2, средние частоты наступления «красных» опасных ситуаций на акватории, прилегающей к порту Пусан.

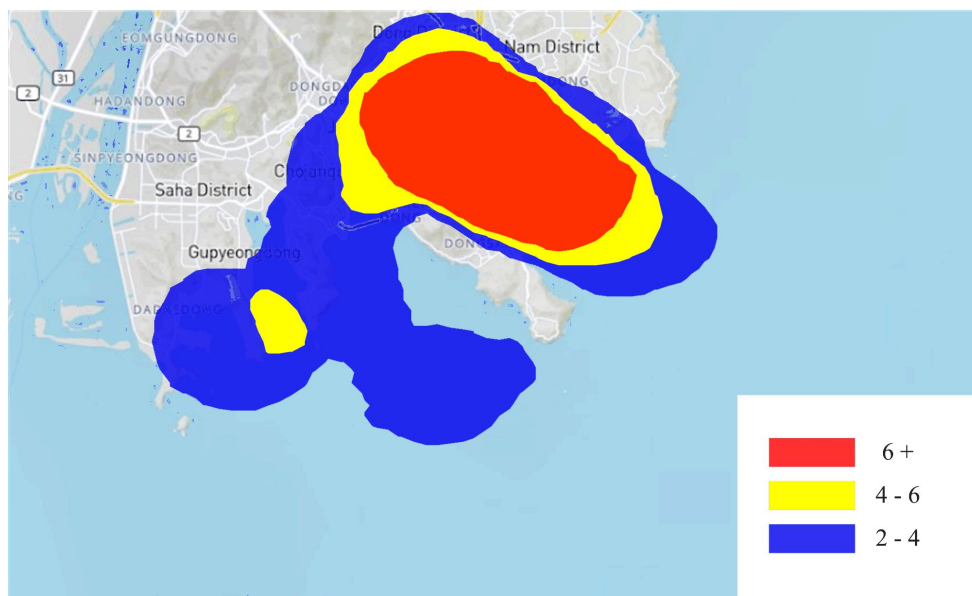


Рисунок 3 - Средняя частота опасных сближений судов на подходах к порту Пусан (ситуаций в час)

Чаще всего опасные ситуации наблюдаются в северо-восточной части залива, непосредственно в портовых водах. Для обсуждаемой задачи представляют интерес подходы к порту Пусан с юга (выделенная область

южнее порта), где средние частоты опасных сближений достигают 2-4 случаев в час (а в отдельные промежутки времени могут быть существенно больше). Судоводители, находящиеся здесь, должны уделять повышенное внимание окружающей обстановке и быть предельно осторожными. Вместе с тем, стоит отметить, что в указанной акватории южнее порта находится район якорной стоянки, где суда, не двигаясь, ожидают своей очереди погрузки/разгрузки. Это обстоятельство существенно упрощает принятие решений, несмотря на высокую плотность трафика.

Несколько слов об особенностях Рисунка 3. Число опасных ситуаций в выбранной точке акватории оценивается как количество «красных» точек кратчайшего сближения судов, находящихся в радиусе двух километров от неё. При таком алгоритме области, показывающие средние частоты опасных сближений судов могут заходить и на сушу (в том случае, если соответствующие точки кратчайшего сближения будут расположены недалеко от берега), как это имеет место быть на Рисунке 3 (и далее, на Рисунке 5). Это следует считать особенностью выбранного метода визуализации.

На Рисунке 4 показаны точки кратчайшего сближения судов, движущихся в Харимском море и Осацком заливе (акватории Внутреннего Японского моря). Отражены данные, собранные в течение одних суток летом 2016 года, в наблюдаемой зоне при этом одновременно находилось около 1600 судов. На рисунке хорошо видны фарватеры интенсивного движения в направлениях «восток-запад» и «юг-север», обусловленные географическими особенностями акватории. Видно, что наибольшее количество опасных сближений наблюдается в узких местах фарватеров и в портовых водах (порты Кобе и Осака).

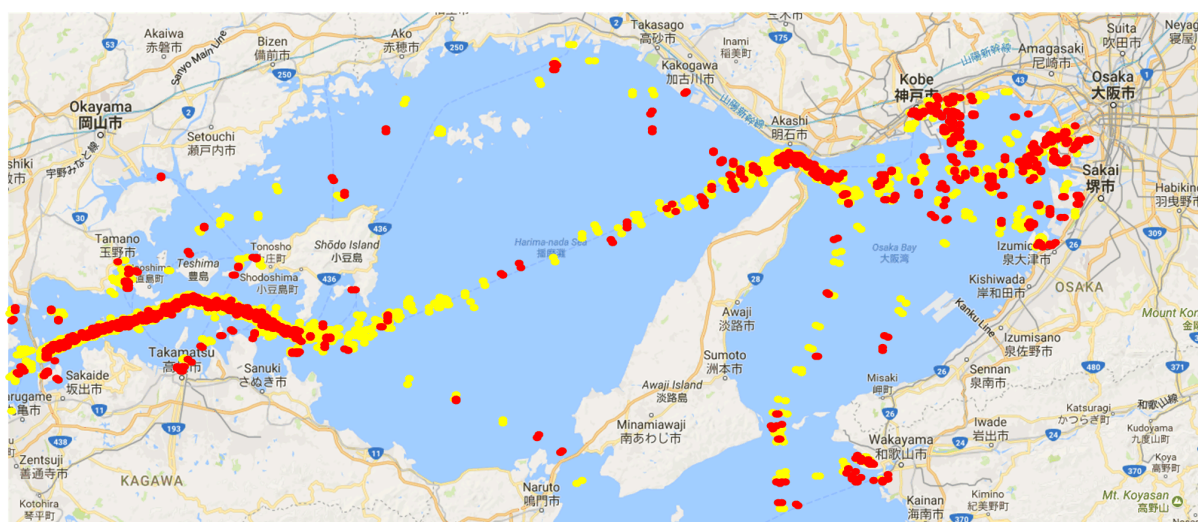


Рисунок 4 - Точки кратчайшего сближения судов (Харимское море и Осацкий залив)

На Рисунке 5 показаны, соответствующие данным Рисунка 4, средние частоты наступления «красных» опасных ситуаций на акватории Харимского моря и Осацкого залива. На большей части акватории частота опасных сближений существенно ниже двух ситуаций в час. В проливах к западу от Харимского моря, где плотность движения наиболее высока, частота опасных сближений достигает 4-5 в час. Портовые воды Кобе и Осаки характеризуются сравнительно небольшим для таких мест числом опасных сближений, что говорит об оптимизированной схеме движения судов. Особенно большое число опасных сближений наблюдается в проливе близ города Акаси, где их частота достигает 7-8 ситуаций в час. Столь высокое число опасных сближений судов происходит в районе с интенсивным движением, что серьезно затрудняет работу судоводителей и может приводить к частым ошибочным управленческим решениям. В районах, подобных этому, требуется особенно высокий уровень регулирования движения со стороны береговых систем управления движением судов.

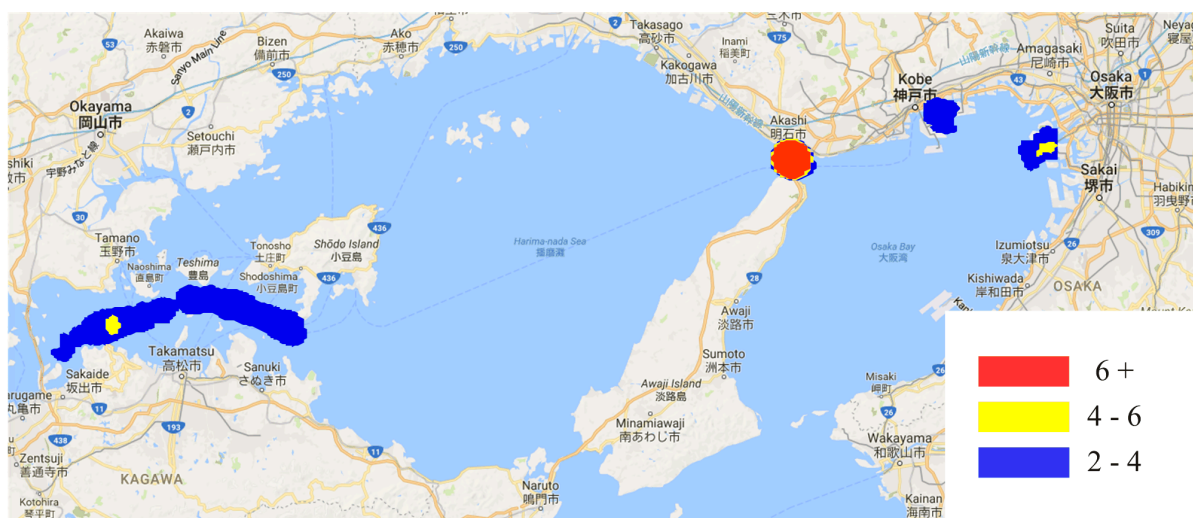


Рисунок 5 - Средняя частота опасных сближений судов в Харимском море и Осацком заливе (ситуаций в час)

Обсуждение. Полученные результаты позволяют сформировать систематизированное представление о степени опасности движения на различных участках морских акваторий. Вообще, такая оценка возможна на основе различных подходов. Например, в работе [21] авторы используют модель относительного движения двух судов и выделяют точки акватории, в которых движение распознано как потенциально опасное, то есть 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 порождать большое число опасных ситуаций. С этой точки зрения рассмотренное представление о частоте опасных сближений гораздо более информативно. 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» [27-29].

С помощью предложенной метрики были оценены схемы движения судов на акваториях различного типа: с регулярным трафиком невысокой плотности (Сангарский пролив), с регулируемым интенсивным трафиком в портовых водах с большим числом покоящихся судов (Пусан), с нерегулируемым интенсивным трафиком в открытом море (Внутреннее Японское море). Данные моделирования показывают, что разработанный подход вполне способен решать поставленную задачу.

Заключение. 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 аффилированных 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 представления информации о движении судов такими источниками, они могут быть использованы для изучения особенностей трафика морских акваторий. При этом актуальны различные варианты интерполяции данных о движении, например – кусочно-линейная интерполяция.

Оценка степени опасности трафика возможна на основе анализа числа и локализации точек кратчайшего сближения судов. 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 возможно построение устойчивой картины опасных участков акваторий и эмоциональной нагрузки на операторов береговых систем управления движением и судоводителей. Это представляет большую ценность для служб, реализующих мероприятия по обеспечению безопасности движения, открывает перспективную возможность оценки степени опасности схемы движения, реализуемой на акватории, и выработки рекомендаций по её изменению в сторону менее опасных конфигураций.

ЛИТЕРАТУРА

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. Лентарев. – 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. Ипполитов С.В. Модель управления динамическими объектами / С.В. Ипполитов, О.Н. Чопоров, Д.В. Лопаткин, А.В. Сизов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2017. – № 2.
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. – 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. 03. – Pp. 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
14. Ключев В.В. Использование теории геометрических вероятностей для оценки показателя стеснённости 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. – Издание 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. 03. – 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. 01. – 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 им. 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 им. адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 4 (38). – с. 51-61. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-51-61.
28. Гриняк В.М. Система экспертного оценивания состояния навигационной безопасности морской акватории на основе нейронечёткой сети / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Проблемы управления. - 2015. - №4. – с. 58-65.
29. Девятисильный А.С. Система экспертных оценок состояния безопасности на морских акваториях / А.С. Девятисильный, В.М. Дорожко, В.М. Гриняк, О.В. Кириченко, Н.В. Лоскутов // Информационные технологии. – 2004. - №11. - с. 48-53.

V.M. Grinyak, Yu.S. Ivanenko
USE AIS DATA FOR ESTIMATION OF MARINE TRAFFIC SAFETY
Vladivostok State University of Economics and Service
Far Eastern Federal University

The paper is devoted to the problem of navigational safety of sea vessels traffic. The problem of determining the degree of danger of a traffic pattern implemented in a specific water area is considered. At the same time, it is proposed to refer to navigational data provided by the Automatic Identification System (AIS) and available on open Internet resources. As a metric characterizing traffic safety, the frequency of ship collision is used. It is determined on the basis of an estimate of the number and localization of closest points of approach. The problem with the use of AIS data provided by open Internet resources is a significant limitation in the accuracy of determining navigation parameters of vessels and the frequency of information receipt. The paper considers the format for presenting the initial data on motion and the available limitations. It is shown that, despite the limitations, it is possible to estimate a stable hazardous area of the waters. The work is accompanied by the results of case studies: the results of the estimation of marine traffic safety in the Tsugaru Strait, the waters of the port of Busan and the waters of the Inland Japan Sea are presented.

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

REFERENCES

1. International Regulations for Preventing Collisions at Sea 1972 (COLREGs-72). M.: 2004.
2. S.G. Pogosov. Bezopasnost plavaniya v portovyh vodah. M: Transport, 1977.
3. A.A. Lentarev. Morskie raiony system obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya. Vladivostok: GMU im. Nevelskogo, 2004.
4. A.A. Lentarev, and M.O. Maximov. "Use navigation tools for ship flows characteristics estimation." *Transportnoye delo Rossii* 6 (2015): 156-158.
5. M.P. Lebedeva, S.D. Aizinov, and A.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. S.V. Ippolitov, O.N. Choporov, D.V. Lopatkin, and A.V. Sizov. "Model for control dynamic objects." *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionniye tehnologii* 2 (2017).
7. Kaljaev, I. A., A. R. Gajduk, and S. G. Kapustjan. *Modeli i algoritmy kollektivnogo upravlenija v gruppah robotov*. M: Fizmatlit, 2009.
8. Z. Zeng, 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. M.N. Kirsanov. "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 8.2 (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 otimisation" Journal of Navigation 68.02 (2015): 291–307. DOI: 10.1017/S0373463314000708.
11. D.E. Studenikin, A.A. Grigoryan, and N.A. Makovetskaya. "The use of decision support systems for choosing parameters of vessel's maneuvering". Ekspluatatsiya morskogo transporta 4 (2015): 58-62.
12. A.A. Mironenko. "Vessel's program motion model in restricted waters." Mehatronika, avtomatizatsiya, upravleniye 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 62.03 (2009): 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134
14. V.V. Klyuev. "Employment of theory of geometric probabilities to evaluate the index of the water area constraints for the northern sea route." Navigation and Hydrography 46 (2016): 20-28.
15. Plammer K. J. Manevrirovaniye sudov v uzkostyah. L: Sudostroyeniye, 1986.
16. A.A. Lobanov, Yu.V. Rummyantsev, and D.M. Bukhov "Methodical aspects of design work intended to provide the navigation safety under the present-day conditions." Navigation and Hydrography 35 (2013): 29-38.
17. Obshchiye polozheniya ob ustanovlenii putey dvizheniya sudov, № 9036. – MO SSSR, 1987.
18. V.V. Taratynov. "Feasibility of separation of sea routes" Morskoy flot 9 (1969): 19-20.
19. V.P. Taratynov. Sudovozhdeniye v stesnennyh rayonah. M: Transport, 1980.
20. P.G. Brodsky, Y.V. Rummyantsev, and S.N. Nekrasov. "On evaluation of the influence of maritime traffic intensity on accident rate." Navigation and Hydrography 30 (2010): 36-42.
21. J. Weng, and S. Xue. "Ship collision frequency estimation in port fairways: a case study." Journal of Navigation 68.03 (2015): 602–618. DOI: 10.1017/S0373463314000885.
22. L. Wu, Y. Xu, Q. Wang, F. Wang and Zh. Xu "Mapping global shipping density from AIS data." Journal of Navigation 70.01 (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. V.M. Grinyak, M.V. Trofimov, and V.I. 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.
28. V.M. Grinyak, and A.S. Devyatisilny "Marine safety estimation expert system based on neural fuzzy logic network" *Control Sciences* 4 (2016): 58-65.
29. A.S. Devyatisilny, V.M. Dorozhko, V.M. Grinyak, O.V. Kirichenko, and N.V. Loskutov "Marine safety expert estimation system" *Informatsionniye tehnologii* 11 (2004): 48-53.